

イシダイの養殖生物学的研究*

熊 井 英 水**

Biological Studies on Culture of the Japanese Parrot Fish,
Oplegnathus fasciatus (TEMMINCK et SCHLEGEL)

Hidemi KUMAI

目 次

緒 論	3
第 1 章 形 態	5
第 1 節 初期成長に伴う形態変化	5
1. 成長段階	5
2. 斑紋の形成過程	10
第 2 節 天然魚と養殖魚の比較	12
1. 背鰭及び臀鰭条数	12
2. 魚体各部の計測的形質	13
3. 肥 満 度	16
第 2 章 成熟と産卵	17
第 1 節 産卵親魚	17
第 2 節 成 熟	19
1. 成 熟 期	19
2. 卵径組成	21
第 3 節 産 卵	24
1. 卵巣内卵数	24
2. 産出卵数	24
3. 産卵回数と総産卵数	30
4. 産卵条件と産卵行動	34

* 本論文は九州大学へ提出した審査学位論文である。

** 近畿大学水産研究所浦神実験場 (Fisheries Lab. of Kinki Univ., Uragami, Wakayama 649-51, Japan)

第 3 章	卵発生及びふ化	41
第 1 節	卵及び卵内発生	41
第 2 節	卵発生、ふ化と環境条件	43
	1. 水 温	43
	2. 海水比重	47
第 4 章	成 長	50
第 1 節	環境条件と成長	50
	1. 水 温	50
	2. 海水比重	55
	3. 溶存酸素	57
	4. 水温と成長	58
第 2 節	餌料と成長	61
	1. 仔稚魚期の成長	61
	2. 若魚期からの成長	64
第 3 節	成長と年齢	68
第 5 章	交雑による養殖種苗の生産	72
第 1 節	メジナとの交雑種	72
第 2 節	イシガキダイとの交雑種	75
	1. イシダイ×イシガキダイ (F_1)	76
	2. F_1 ×イシガキダイ ($G \cdot B_1$)	78
	3. $G \cdot B_1$ ×イシガキダイ ($G \cdot B_2$)	80
	4. F_1 ×イシダイ ($I \cdot B_1$)	83
	5. $I \cdot B_1$ ×イシダイ ($I \cdot B_2$)	85
	6. 5 交雑種の形態と成長比較	87
第 6 章	イシダイの増養殖	93
第 1 節	種苗の量産	93
第 2 節	養 成	98
要 約		106
文 献		113
Summary		116

緒 論

海産魚の養殖には従来、天然種苗が用いられてきたが、最近は対象魚種の拡大と共に多くの高級魚を対象に、その種苗生産技術を確立して完全養殖に指向している。これらの魚種のうち、イシダイは沿岸に多く、定着性の重要高級魚であり、需要も多く、放流用種苗生産と共にその養殖が期待されている。

イシダイ Japanese parrot fish, *Oplegnathus fasciatus* (TEMMINCK et SCHLEGEL) は分類上硬骨魚綱 Osteichthyes, スズキ目 Perciformes, スズキ亜目 Percoidei, イシダイ科 Oplegnathidae に属し、近縁種には同属のイシガキダイ Spotted parrot fish, *Oplegnathus punctatus* (TEMMINCK et SCHLEGEL) がある。またイシダイはシマダイ、チシャ、ハスなど40種にのぼる地方名がある。

本種は分布域が広く、北海道から鹿児島まで、わが国のほぼ全域に分布する磯魚で、特に西日本の黒潮沿岸海域に多い。漁獲は定置網、刺網などによる他、磯釣の対象種としても極めて重要な資源であり、なおかつ頗る美味で四季を通じて賞味され、需要の上からも今後益々増大する可能性がある。このため、本種の養殖が西日本各地で主としてハマチと混養の形で行われるようになり、福所（1979）によれば1977年の長崎県下の養殖尾数は約100万尾（108経営体）に達している。そして東京、大阪の中央卸売市場などへ養殖イシダイが入荷するようになり、東京都中央卸売市場年報（1978）によると、その入荷量は38,327kgであった。今後本種の養殖を発展させるためには種苗の大量確保が必要であるが、これを天然で大量に採捕することは困難である。しかし養殖業者の種苗確保の希望は大きく、韓国からの輸入種苗も使用されるようになった。このように種苗を天然のものや国外に依存する方法には限度があり、資源の維持管理にも影響を及ぼすことが懸念されるので、養殖の増大に見合った健全種苗を計画的に生産する必要がある。

一方イシダイに関する研究は、形態・生態に関しては内田（1926）、桧山（1934）、水戸（1956）、道津（1963）及び道津・夏莉（1967）などがあり、種苗生産に関しては長崎水試（1968, 1973, 1974）、熊本水試（1972, 1975）、和歌山水試（1972～1975）及び福所（1979）などがある。

この研究は、1965年、実験的に天然イシダイ稚魚約50尾の養成から開始した。これを親魚まで養成し、初めて養成イシダイがらの人工受精、ふ化及びふ化仔魚の飼育を行い、この仔魚による全生活史を通じての完全養殖に成功した。このような予備的研究の成果が得られたので、引き続きさらに13年間、本格的なイシダイ養殖の確立をめざして養殖生物学的基礎研究を行った。

先ずイシダイの天然魚、養殖魚の形態比較を行うため、初期成長、斑紋形成について研究し、

さらに仔魚から成魚に至る形態変化について研究した。

次にイシダイの成熟と産卵生態を明らかにするため、産卵期、生物学的最小形、産卵のための環境条件、産卵時刻と産卵行動、さらに親魚の大きさと産卵数の関係、産卵期における産卵回数と産卵数などについて実験を行った。これらを総合して計画的に健全卵を大量に確保する方式を明らかにした。

次に仔稚魚の大量確保のため卵発生とふ化及び仔稚魚について研究し、卵発生及び仔稚魚の生き残りに及ぼす環境条件を明らかにした。

続いて養殖時における成長生態を明らかにするため、養殖魚に重要な成長について、餌料の影響やたん白質の必要量などに検討を加えた。また養殖魚として成長の早い優良品種をつくり出すために他魚種、特にイシガキダイとの交雑実験を行った。

最後に以上の基礎的知見に基づいて、養殖親魚の採卵から養成まで完全養殖に検討を加え、イシダイの合理的かつ科学的増養殖の方策について取り纏めた。

本論文を取り纏めるに当たり、終始御懇切なる御指導と御校閲を賜った九州大学教授 塚原博先生、有益な御助言と御指導、御高配を賜った元広島大学水畜産学部長・教授 村上 豊先生に謹んで深謝の意を表す。九州大学教授 板沢靖男先生、九州大学助教授 木村清朗先生には本稿の御校閲と貴重な御助言をいただいた。ここに衷心より感謝の意を表す。また筆者が海産魚類養殖の研究に着手する機会を与えられ、今日まで終始変らぬ御指導、御鞭撻をいただいた近畿大学総長 世耕政隆先生、近畿大学水産研究所長・教授 原田輝雄先生にこの機会に深甚の謝意を表す。広島大学教授 遠部 卓、角田俊平両先生、近畿大学教授 浅野博利先生にはかずかずの御指導と貴重な御助言をいただいた。近畿大学客員講師 David H. WEINER 先生からは英文要旨の御校閲をいただいた。近畿大学農学部長・教授 布施五郎先生には御鞭撻と御高配をいただいた。これらの方々に対して心から謝意を表す。

養殖実験に際しては、和歌山県浦神漁業協同組合から、天然イシダイの採集については、富山県栽培漁業センター研究員、堀田和夫氏から、餌料試験については、日本農産工業株式会社中央研究所、中山 寛氏（現、同社浜松試験場長）から格別の御協力をいただいた。これら各位に厚く御礼申し上げる。

本研究は近畿大学水産研究所浦神実験場において、15年間にわたり行われた。この間、職員各位ならびに卒業研究のために来場された近畿大学農学部水産学科海水増殖学専攻の学生諸氏に多大の御協力をいただいたことを特記して謝意を表し、とりわけ本研究当初から終始変らぬ御協力をいただいた、浦神実験場技術員、中村元二氏に対しこの機会に御礼申し上げ、長年の友情を感謝する。

第1章 形態

第1節 初期成長に伴う形態変化

1. 成長段階

初期成長の形態変化は、ふ化直後の仔魚から稚魚を飼育して、成長に伴う魚体各部を測定及び各期のものを写真撮影して観察記録した。飼育は0.5トン円形パンライト水槽を用い、シオミズツボワムシ *Brachionus plicatilis* O.F. MÜLLER (以下ワムシという)、カイアシ類 Copepoda を餌料とし、その水温は20.4～23.4℃の範囲であった。

前期仔魚期：ふ化直後の仔魚，全長2.1mm (Fig. 1-1)。卵黄は大きくその長径は全長の $\frac{1}{2}$ 以上で、その前端は吻端よりやや前方にある。油球は1個で卵黄前方下部にあり、径は0.21mmである。色素胞は黒色素胞が頭頂から尾部末端まで背面に沿って1列に並び、体側及び腹面にも粗に分布する他、油球上にも数個認められる。また黄色素胞は尾部を除く体全体に分布し、油球にも少数認められる。

ふ化後9時間仔魚，全長2.67mm (Fig. 1-2)。卵黄は吸収され縮小する。背部中央の鰭膜中に黒色素胞が3～6個存在するのが本種の特徴とされている (水戸, 1963)。筆者の材料ではこの黒色素胞が4～9個認められる個体と全くない個体が認められた。仔魚は卵黄を上を斜め状に表面に浮いており、時々正常位や横向きで泳ぐ。

ふ化後24時間仔魚，全長2.88mm (Fig. 1-3)。卵黄は縮小し消化管は伸長する。静止時の仔魚は正常位で、時々頭部をやや下にする。遊泳時は尾部を強く振って表層から中層に向って泳ぎ、続いて表面に上昇して静止する。

ふ化後2日仔魚，全長3.02mm (Fig. 1-4, 5)。卵黄はほとんど吸収され、油球も小さくなる。胸鰭が生じ、口が開き眼も発達しグアノホアが生ずる。肛門は体の中央よりやや前方に開く。この時期においても正常位で尾部を強く振って泳ぐ。

後期仔魚期：ふ化後3日仔魚，全長3.17mm (Fig. 1-6)。卵黄は完全に吸収されるが油球はまだ認められる。黒色素胞の分布にはほとんど変化がないが、黄色素胞は集合して体の中央部背側に顕著である。この頃から摂餌行動が認められる。

ふ化後12日仔魚，全長5.11mm (Fig. 1-7)。口裂は大きくなり、口の発達と共に消化管は伸長し、1回転する。尾鰭原基が生ずる。

ふ化後16日仔魚，全長6.24mm (Fig. 1-8)。体中央背側に背鰭原基の出現が認められ、腹側には臀鰭原基が出現する。

ふ化後18日仔魚，全長6.57mm (Fig. 1-9)。尾鰭々条が次第に明瞭になり、有節鰭条としての2

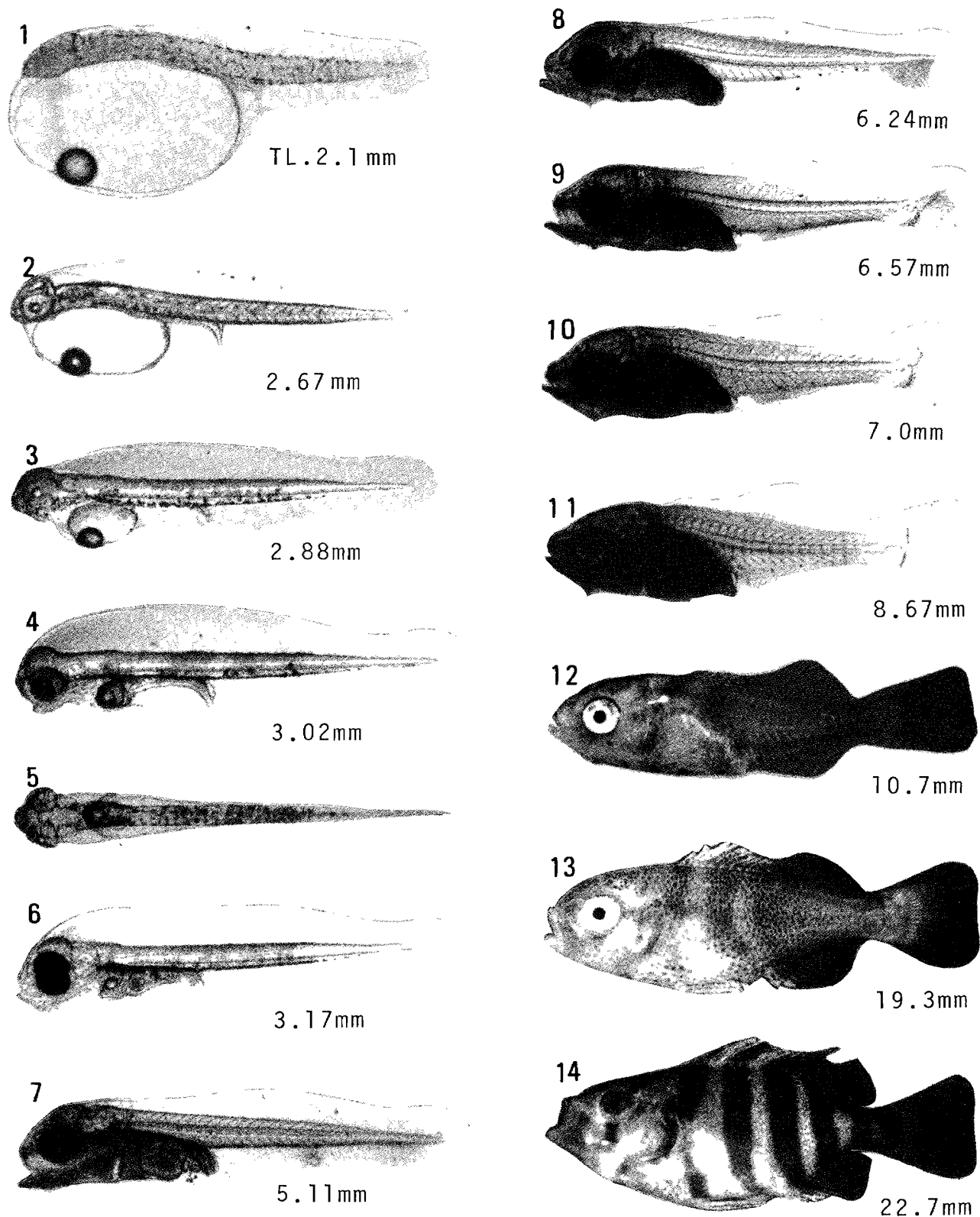


Fig. 1 Morphological changes with growth. 1, newly hatched larva; 2, 9 hrs. after hatching; 3, 24 hrs. after hatching; 4, 2-day after hatching; 5, same as in 4; dorsal view; 6, 3-day after hatching; 7, 12-day after hatching; 8, 16-day after hatching; 9, 18-day after hatching; 10, 21-day after hatching; 11, 26-day after hatching; 12, juvenile of 28-day after hatching; 13, 35-day after hatching; 14, 37-day after hatching.

列の節が認められるようになる。腹鰭原基も出現する。

ふ化後21～26日仔魚，全長7.0～8.67mm (Fig. 1-10, 11)。尾鰭はほぼ完成し，後縁は丸形となる。鰭膜は尾柄部で強くくびれ，背鰭及び臀鰭の棘，軟条が発達する。摂餌行動中の仔魚は胸鰭を盛んに動かし，前進して摂餌するが，体をS字状に曲げた後，餌料に突進して摂餌するものもある。このような仔魚は群をつくり始め，特にエアレーションの水流に沿って群をつくることが多い。

稚魚期：ふ化後28日稚魚，全長10.7mm (Fig. 1-12)。鰭はいずれも鰭条が定数に達し，体高を増しイシダイに特徴的な横縞の形成が始まる。このような稚魚は尾部が透明で，体前部が黒っぽく見える。またこの時期の稚魚は器壁やエアレーション用ガラス管に集まり，摂餌はワムシから次第に約700 μ のカイアシ類にかわる。

ふ化後35日稚魚，全長19.3mm (Fig. 1-13)。肛門より後部の体高も増し，帯状の横縞が認められる。尾柄部背・腹部を除いた体全体は黒色素胞及び黄色素胞で覆われるために不透明となる。

ふ化後37日稚魚，全長22.7mm (Fig. 1-14)。7条の横縞が明瞭になり，大型カイアシ類から次第に魚肉ミンチも摂るようになる。全長31.8mmの稚魚では胸鰭基部後方に鱗が生ずる。

若魚及び成魚期：フォーク長5 cm以上の若魚はほぼ成魚の形態になり，主に魚肉ミンチを摂るようになる。養殖に当たってはこの頃から海面生簀に冲出しする。その生簀内では群をなして活発に回転運動を行うようになる。フォーク長13.3cm以上になると，雄に成熟個体が出現する。体色は雌では地色が淡黒紫色で体側に7条の黒紫横縞があり，口辺部も黒い。しかし老成化に伴い横縞は次第に不明瞭になる。一方雄の老成魚では黒紫色の横縞が消滅し，全体が灰白色になるが，口辺部は黒く，クチグロと呼ばれるようになる。このように成魚は体色と横縞の変化から雌雄の判別が可能であり，これを利用して親魚の性別を判定することができる。この成長に伴う体色変化について1967～'72年の間に人工ふ化を行い，その養成魚約300尾について，魚体の大きさと体色変化の関係を求めた (Figs. 2, 3)。これによれば体色変化の進行状況は次の5段階に分けることができる。

1：腹鰭前部の腹側に白点の出現したもの。フォーク長20.5cm (Fig. 2-1)。

2：白点は次第に広がり，喉部，鰓蓋部及び体側腹部から肛門付近まで達するが，体側中央部に及ぶことはない。フォーク長24.4cm (Fig. 2-2)。

3：白点は眼下鰓蓋部に顕著に現われ，さらに肛門より後部ならびに体側中央部にも及ぶ。フォーク長26.0cm (Fig. 2-3)。

4：白点の出現範囲はさらに進み，側線を越え背部に及ぶ。第3横縞と正中線が交わる点を基点として背側では背鰭軟条基部中央，腹側では臀鰭軟条基部中央とをそれぞれ結んだ線より前

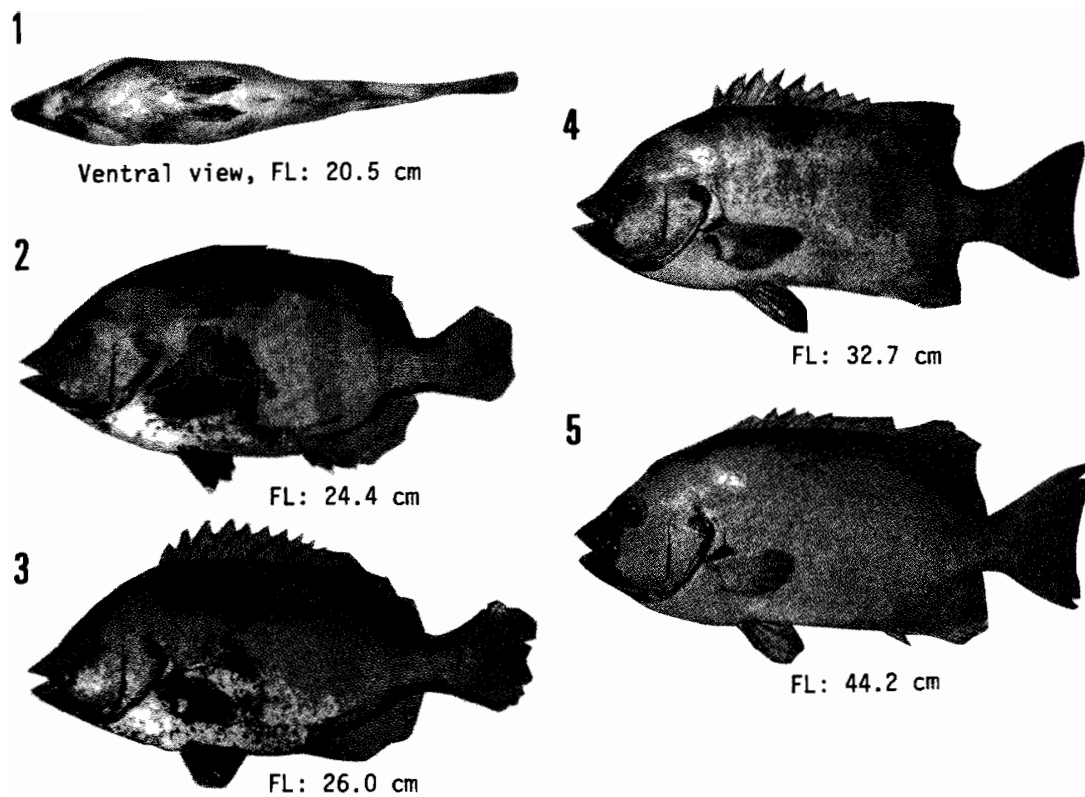


Fig. 2 Changes in coloring of males.

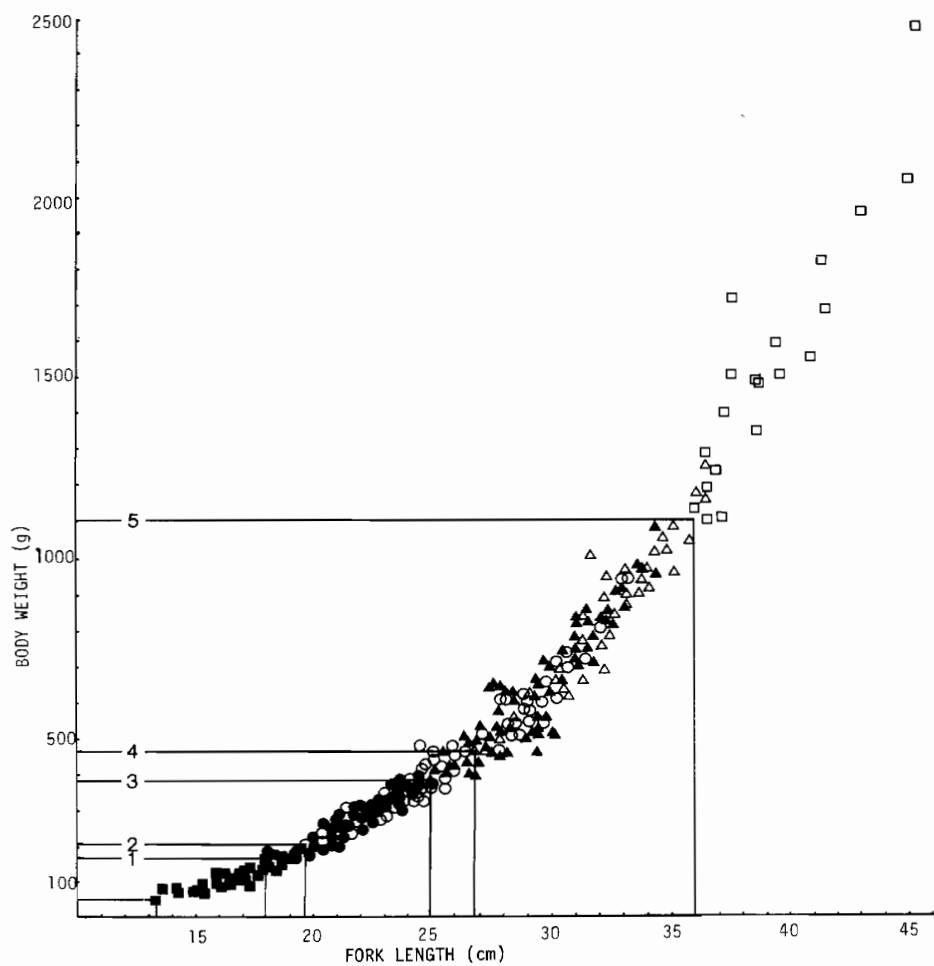


Fig. 3 Change in body color of males with growth. Each number indicates the beginning of each stage. Solid square, no change in body color; solid circle, stage 1; open circle, stage 2; solid triangle, stage 3; open triangle, stage 4; open square, stage 5.

方はほとんど灰白色となる。フォーク長32.7cm (Fig. 2-4)。

5：黒色の口の周辺部を除く体全体が灰白色化し、イシダイ特有の横縞は認められない。フォーク長44.2cm (Fig. 2-5)。

以上魚体の大きさと体色各段階の変化から、段階1の最小個体はフォーク長18.0cm、体重170g；段階2では19.6cm、210g；段階3では25.0cm、385g；段階4では26.8cm、470g；段階5では36.0cm、1,100gである (Fig. 3)。このように養殖イシダイではフォーク長18cmで体色変化が起こり始めることから、この大きさ以上のものでは雄と判定することができる。なお天然イシダイで道津 (1963)、道津・夏莉 (1967) はこの判定できる魚体の大きさを、全長35cm、体重0.8kgとしている。

さらに仔魚から成魚に至るまでの成長段階について体長の増加に伴う体高、体幅、頭長、吻長、頭胴長、眼径及び卵黄長の比、すなわち相対成長について検討を加えた (Fig. 4)。その結果、前期仔魚期では卵黄が吸収されるために、頭胴長、体高、卵黄長の比が小さくなり、逆に両顎が発達するために吻長の比が大きくなる。後期仔魚期にはワムシの摂餌が始まり、消化系諸器管の発達に関連して頭胴長、体高、頭長などの比が大きくなる。稚魚期には体長に対する体高比が著しく大きくなると同時に斑紋の形成が始まる。眼径比は小さくなる。また各鰭の鰭条は定数に達する。この期の終りには斑紋は7条の横縞として完成する。若魚期には全長5cm前後となり、この期以降は体長に対する頭胴長、頭長、体幅、吻長、眼径の比はほぼ一定となる。ただ体高比だけが徐々に小さくなるので、その屈曲点を詳しく調べるとフォーク長23cm付近にあり、この大ききで最初の産卵が認められ、ここで雌雄ともに成熟したことから、これ以降は成魚期となる (Fig. 5)。

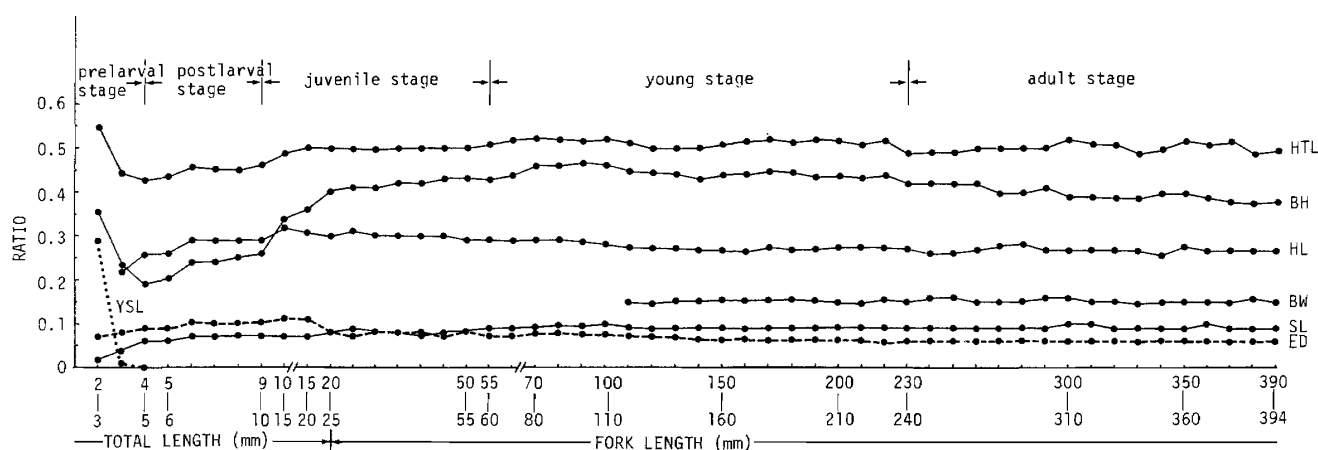


Fig. 4 Changes with growth in the ratio of height(BH), width(BW), head length (HL), snout length(SL), head and trunk length(HTL), eye diameter(ED), and yolk sac length(YSL) to total or fork length.

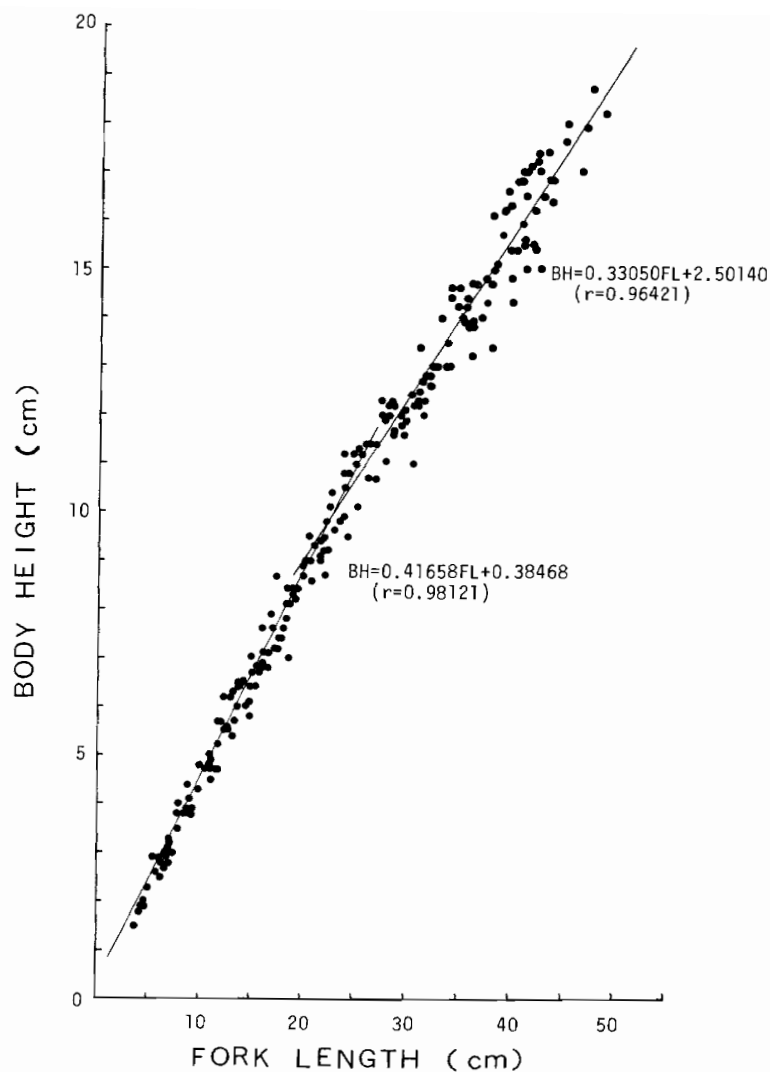


Fig. 5 Relation between fork length and body height.

2. 斑紋の形成過程

イシダイは稚魚期から成魚期にわたって、特徴的で明瞭な黒紫色横縞をもつ。横縞の形成過程は内田(1926), 福所(1979)の報告がある。筆者は成長に伴い7条の横縞が完成するまでの過程を黒色素胞の量的変化と肉眼観察によって追跡した。実験は1971年6月8日より7月31日まで行い飼育中の全長約4～17mmの仔魚から資料を適宜採取し, 0.5%ウレタンで麻酔後観察した。

なお麻酔による斑紋への影響はなかった。また横縞(斑紋)は頭部より尾部に向って第1～7横縞と呼ぶこととする。

フォーク長4～6mmで頭頂部に黒色素胞が出現し, 6～8mmで鰓蓋軟部及び内臓部体表にも出現する(Fig. 6—1)。8～11mmで頭頂部, 背鰭始部から体側, さらに体中央部体側に幅広く黒色

素胞が出現し、第1, 2, 3横縞の形成が始まる(Fig. 6-2, 3)。12~13mmで第4横縞が出現し、第3横縞と共に明瞭になる。また第4横縞の後部体側に黒色素胞が一団となって増加する(Fig. 6-4)。この黒色素胞群から第5横縞が出現し、その後全長14~16mmで第6横縞、16~23mmで第7横縞が分離する(Fig. 6-5)。

以上のように頭部の黒色素胞出現から始まる横縞形成は、第1横縞から第7横縞にかけてみられるが、第1, 第2横縞は背部から、第3, 第4横縞は背・腹から、第5~7横縞は体側中央部から背腹に向って形成される。また横縞形成の始まる時期は、早いものでふ化後18日、遅いものでは35日であったが、いずれも全長10mm前後で、飼育日数にかかわらず魚体長によって横縞形成が始まることが認められた。

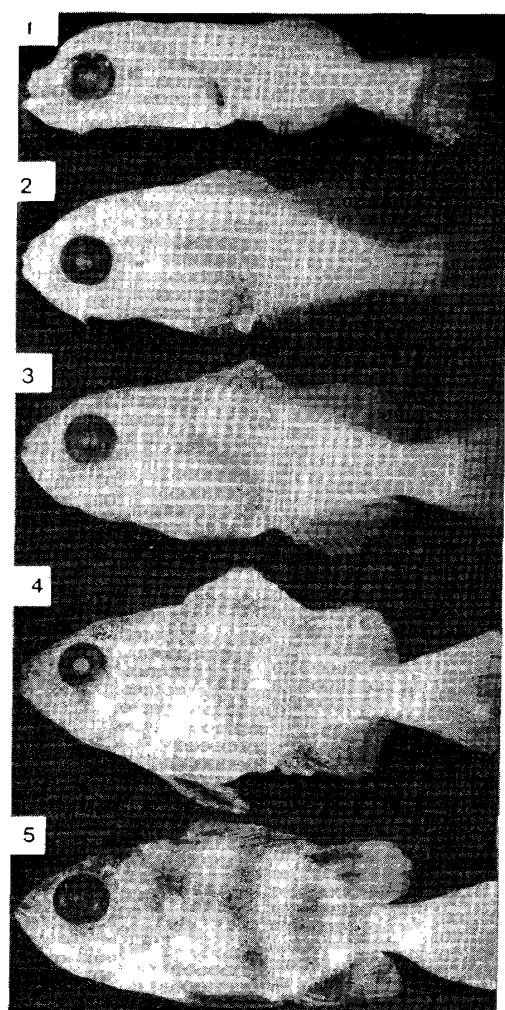


Fig. 6 Process of formation of transverse bands. 1, TL: 7.2mm; 2, TL: 8.7mm; 3, TL: 10.6mm; 4, TL: 12.4mm; 5, TL: 22.7mm.



Fig. 7 Young fish with seven normal transverse bands. Fork length, 17.9 cm.

横縞の変異：イシダイに特徴的な横縞には個体変異のあることが知られており、福所(1979)が詳細に報告している。標準的な横縞をもつ個体は第1から第7の横縞が認められる(Fig. 7)。第1は眼窩を、第2は背鰭棘条始部から胸鰭基部を、第3は背鰭棘条の中央付近から腹鰭と肛門間の中央部付近を、第4は背鰭棘条終部から臀鰭軟条始部を、第5は背鰭軟条部中央付近から臀鰭軟条部中央付近を、第6は尾柄部始部すなわち背鰭後端付近から臀鰭後端付近を、そして第7は尾柄部後端をそれぞれ通っている。筆者の養殖イシダイの調査例(100尾、フォーク長21.4～25.5cm)によるとこのような標準個体は59%で残り41%に横縞の変異が認められた。この横縞変異の出現部位は第1、第2横縞には認められず、第3、第4横縞では僅かに1個体がみられたに過ぎず(Fig. 8-A), 第5～7横縞に集中しており、これらは第5横縞から第7横縞にまたがるもの(Fig. 8-B), 第6横縞から第7横縞にまたがるもの(Fig. 8-C)があり、特に後者は76%を占めた。この横縞の個体変異は、先に述べた横縞形成過程で第1～4横縞は独立して形成されるのに対し第5～7横縞は1つの色素胞群が分離して形成されるので、その不完全分離などにより出現するものと思われる。

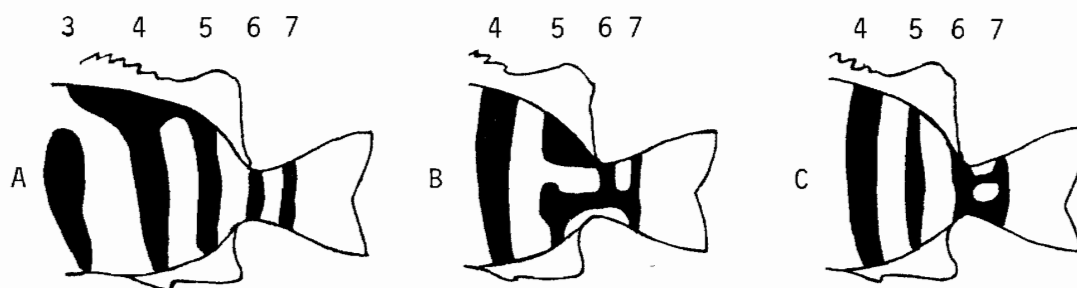


Fig. 8 Anomalies of transverse bands. A, anomaly of 3rd and 4th bands; B, anomaly of 5th to 7th; C, anomaly of 6th and 7th.

第2節 天然魚と養殖魚の比較

養殖魚は限られた環境条件下に長期間おかれるため、その生活環境に適応して形態変化が生ずる。そのためにここでは天然魚と養殖魚の形態的差異について比較検討を行った。

1. 背鰭及び臀鰭条数

1976年3～10月、富山湾沿岸で定置網によって漁獲された0～1才の天然イシダイ299個体と、1967年以来、三重県産の親魚から人工ふ化飼育してきた0～1才魚170個体を用いた。これらの魚体の背鰭棘・軟条、臀鰭棘・軟条数を計数し、その出現頻度を求めた(Table 1)。この結果、すべての棘・軟条について、養殖魚は天然魚に比べ多少の変異は認められるが、出現頻度の顕著な棘・軟条数は両者ほとんど同じであり、両者の間には有意差は認められない。

Table 1 Variation in the number of dorsal and anal rays in wild and cultured fish.

		No. of spines	Frequency(%)	No. of soft rays	Frequency(%)
Wild fish n=299	Dorsal fin	XI	2.01	15	3.68
		XII	97.99	16	44.82
				17	43.14
				18	7.69
				19	0.67
	Anal fin	III	100.0	12	27.09
				13	71.57
				14	1.34
Cultured fish n=170	Dorsal fin	IX	0.59	13	0.59
		XI	5.88	15	1.76
		XII	92.35	16	20.59
		XIII	1.18	17	52.35
				18	22.94
				19	1.76
	Anal fin	II	0.59	11	0.59
		III	99.41	12	8.82
				13	87.65
				14	2.35
				15	0.59

2. 魚体各部の測定形質

天然、養殖魚とも1項で用いた材料(フォーク長9.0~25.3cm)から任意に100尾ずつ抽出し、各部位を測定した(Fig. 9)。これを用いてフォーク長に対する体重、体高、体幅、胸鰭長、頭長、吻長、頭胴長、眼径及び両眼間隔の9項目について比較した。

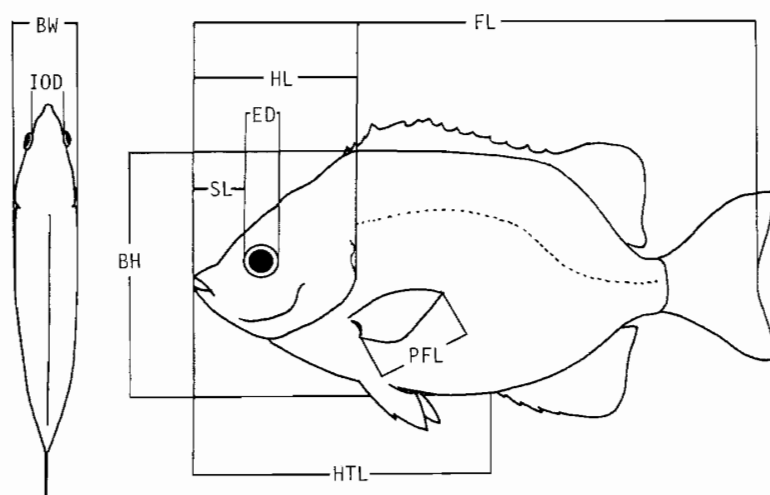
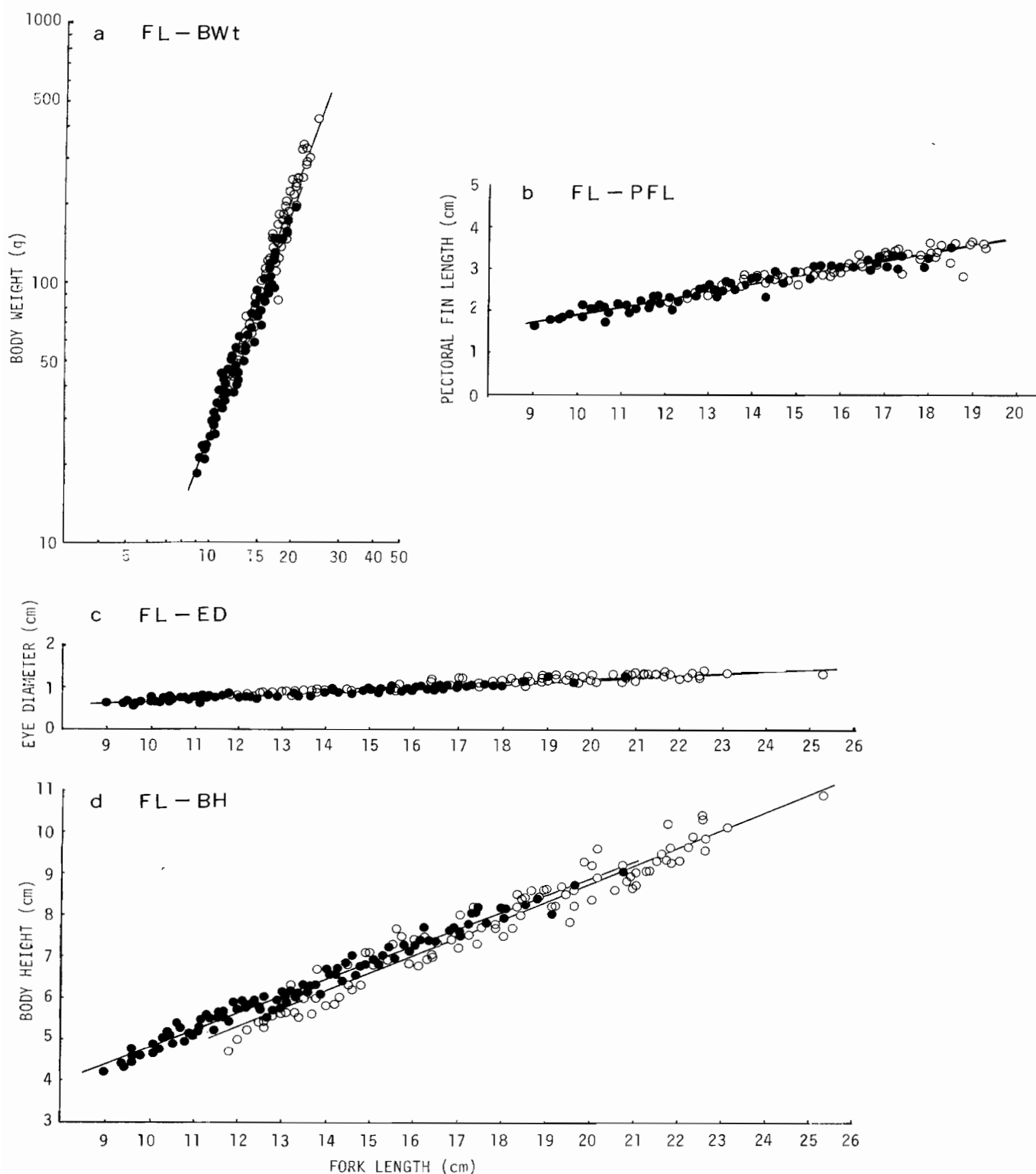
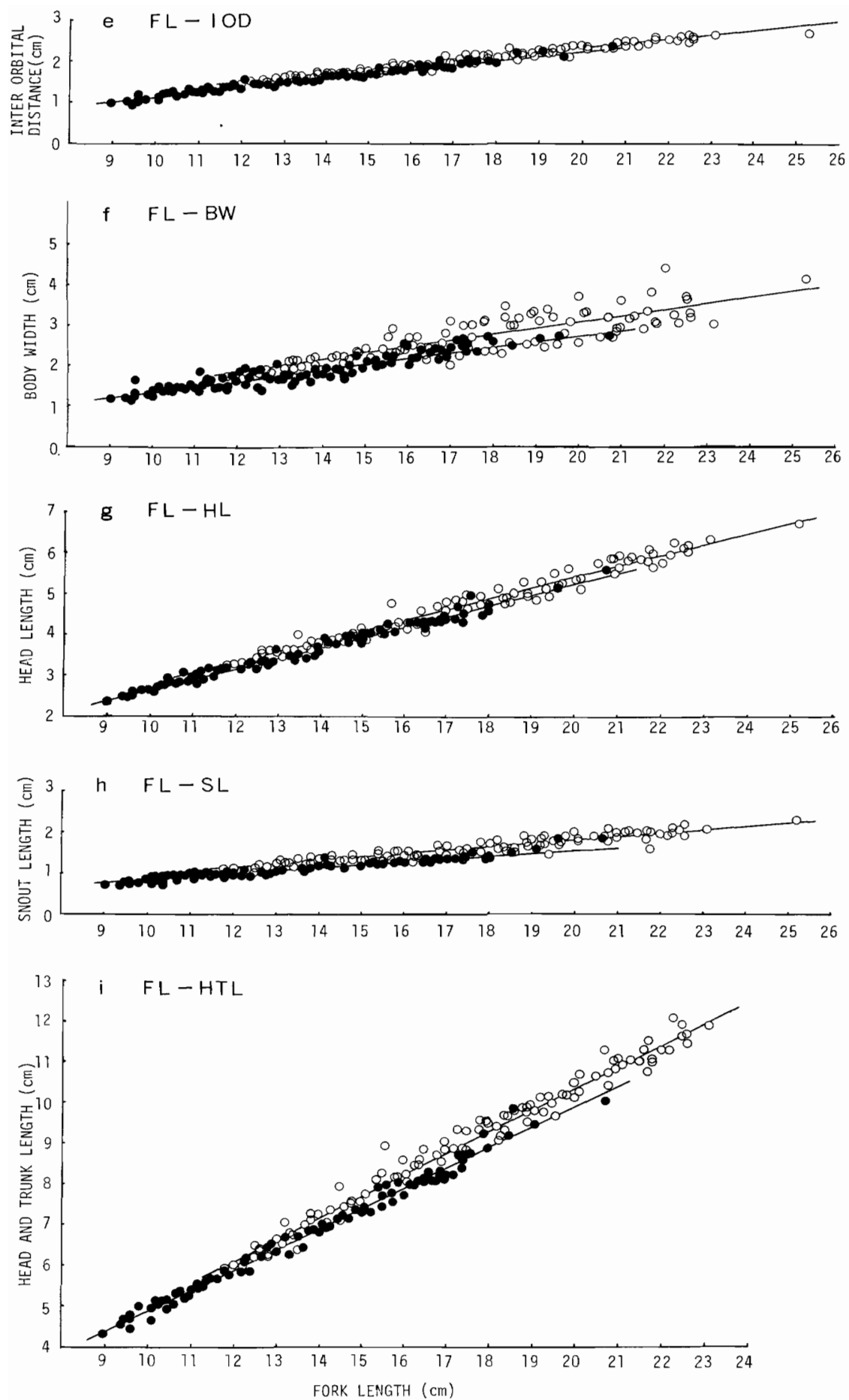


Fig. 9 Lengths taken for measurement.

FL, fork length; BH, body height; BW, body width; HL, head length; SL, snout length; ED, eye diameter; IOD, inter orbital distance; HTL, head and trunk length; PFL, pectoral fin length.

その結果、この体長範囲では体重、胸鰭長及び眼径の3形質については、両者差が認められない(Fig.10-a, b, c)。その他の形質のうち体高のように最初天然魚が大きく、成長に伴って差が小さくなるものを除いては、すべて養殖魚がやや大きいことが明らかとなった(Fig.10-d, e, f, g, h, i)。しかし背鰭12棘の長さの総和で両者を比較すると変異幅は大きいですが、天然魚が大きいことが認められ、しかも成長に伴い両者の差は次第に大きくなる(Fig.10-j)。





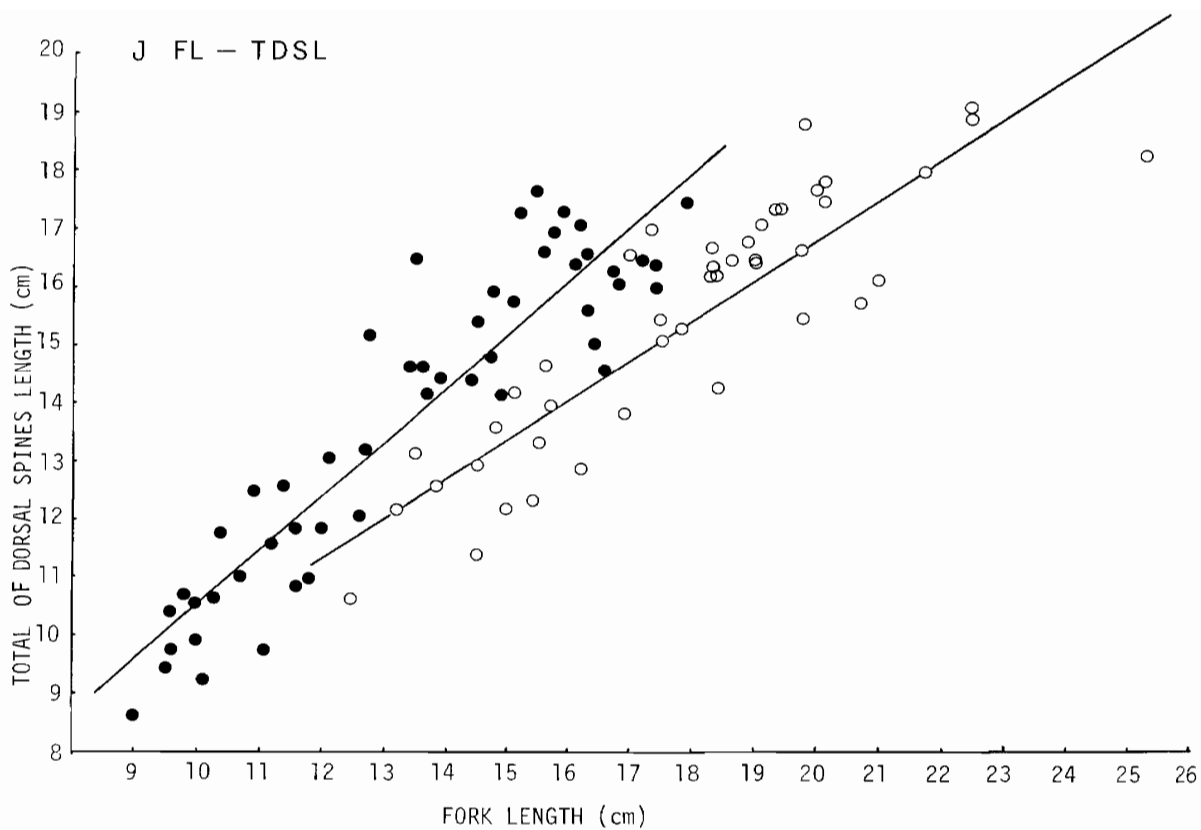


Fig. 10 Relation between fork length and length of various parts of the body. Open circle, cultured fish; solid circle, wild fish.

3. 肥満度

フォーク長9.0~22.6cmの範囲の魚体を材料として、各個体の肥満度を算出し、各体長群ごとに平均値を求めた(Fig.11)。その結果、肥満度は小型個体を除き、フォーク長13cm以上では常に養殖魚が天然魚より5~14%上まわった。養殖魚は狭い生簀に収容され、エネルギーの消費が少ない上に餌料が充分与えられることが肥満度の大きい原因であると推察される。

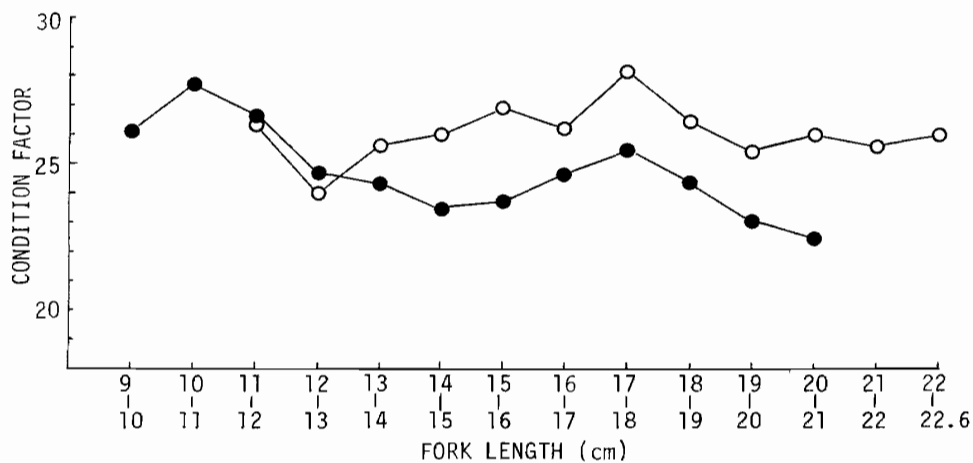


Fig. 11 Differences in the condition factor between wild and cultured fish. Open circle, cultured fish; solid circle, wild fish.

第2章 成熟と産卵

健全な受精卵を計画的に必要な量獲得するためには優秀な採卵用親魚を養成する必要がある。このためイシダイの成熟、産卵に関する生物学的基礎事項を明らかにすることが必要である。ここでは効率の良い採卵法の知見を得るために養殖イシダイを用いて成熟、産卵について基礎的研究を行った。

第1節 産卵親魚

養殖イシダイは雄は生後満1年、雌は満2年で一部成熟がみられるが、群成熟度から採卵用親魚として適当な大きさは、雄は2年以上(フォーク長約24cm, 体重約380g以上: 群成熟度100%), 雌は3年以上(フォーク長約29cm, 体重約700g以上: 群成熟度83.3%)である。またすでに述べたように成熟親魚の雌は、地色が淡黒紫色で体側に黒紫色横縞が認められるのに対し、雄は横縞が次第に消滅し、口辺部の黒色を残して体全体が灰白色に変化する。このように体色と横縞の変化から雌雄の判別ができる(Fig. 12)。

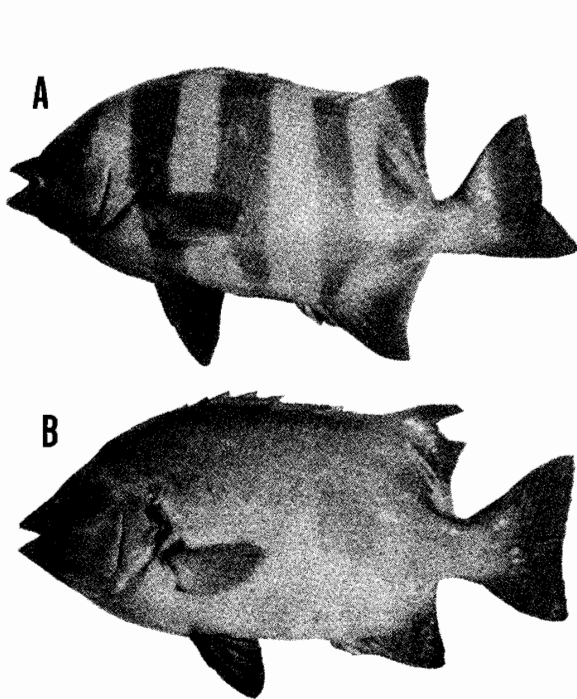


Fig. 12 Cultured adult fish.
A, female (fork length 43.2cm)
B, male (fork length 43.0cm).

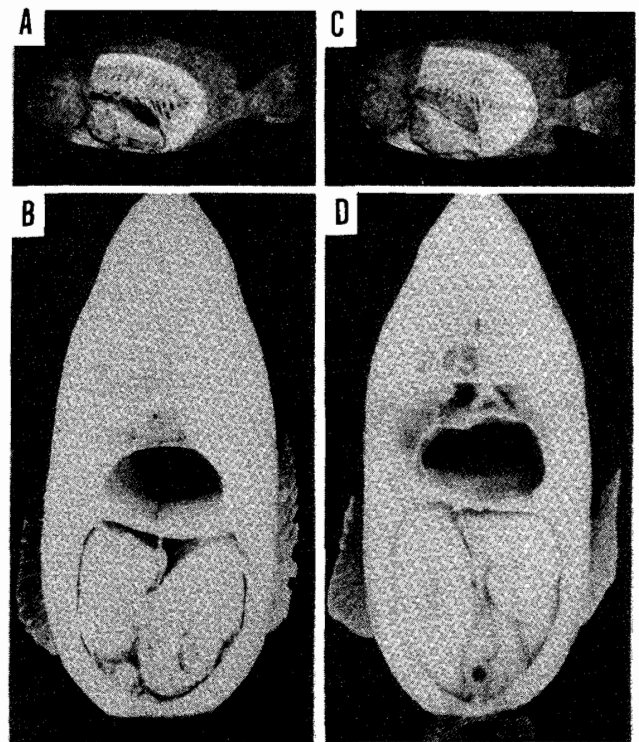


Fig. 13 Mature gonad. A and B, ovary;
C and D, testis.

生殖巣：イシダイの生殖巣は雌雄共に左右1対あり、いずれも成熟すると著しく肥大し、前方に伸長して体腔の大部分を占める(Fig. 13)。卵巣はやや黄味を帯び、成熟卵巣の断面をみると透

明卵が小型卵に混って分布する (Fig. 14)。産卵直前の卵巣は、透明卵が卵巣下部に集合していることが認められる (Fig. 15)。精巣は乳白色で良く成熟したものは指圧するとミルク状の濃い精液が流れ出るようになる。

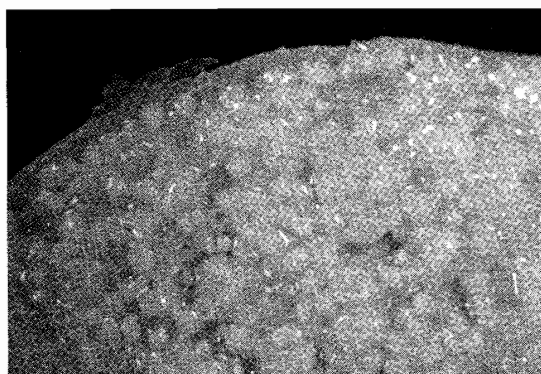


Fig. 14 Cross-section of an ovary, showing some transparent ripe eggs among many premature ones.



Fig. 15 An ovary with full-matured eggs (shown by an arrow).

Table 2 Sizes of 1-year old males and 2-year old females whose gonads were confirmed to be matured.

Date	Sex	Fork length(cm)	Body height(cm)	Body width(cm)	Body weight(g)
Jun. 24, 1978	♂	13.3	5.5	1.8	55
〃	♂	13.7	5.6	1.8	56
〃	♂	14.0	5.8	1.8	66
〃	♂	14.5	5.9	1.9	65
〃	♂	14.9	6.1	2.0	77
〃	♂	15.0	6.2	2.1	80
〃	♂	15.2	6.5	1.9	85
〃	♂	15.3	6.0	1.9	75
〃	♂	15.3	6.1	2.0	76
〃	♂	15.5	6.5	2.1	90
〃	♂	15.6	6.2	2.0	85
〃	♂	15.9	6.6	2.2	95
〃	♂	16.6	7.0	2.3	110
〃	♂	17.3	7.3	2.4	127
〃	♂	17.3	7.3	2.4	130
〃	♂	17.5	7.3	2.4	130
〃	♂	17.5	7.3	2.5	135
〃	♂	17.7	7.3	2.8	150
〃	♂	18.6	7.6	2.7	160
〃	♂	19.0	7.9	2.4	151
Jun. 30, 1972	♀	23.8	9.8	4.2	365
Jul. 15, 1972	♀	24.7	10.1	4.2	425
〃	♀	24.9	10.5	4.4	415
Jun. 30, 1972	♀	25.3	10.7	4.5	465
Jul. 15, 1972	♀	25.8	10.9	4.1	445

生物学的最小形：こゝではイシダイが生後何年で、どれ程の大ききで成熟するかを知るための実験を行った。

1977年5月下旬に人工ふ化し、満1年1ヶ月飼育した1978年6月24日、多数が放精することを確認、その中の魚体の小さいものから20尾を測定した(Table 2)。これから最小個体はフォーク長13.3cm、体重55gであり、これは雄成魚の特徴である体色変化が未だ現われず、放精したことから雄と判定した。雌は1970年5月人工ふ化し、満2年1ヶ月飼育した個体から1972年6月30日及び7月15日に熟卵を採取した。これら魚体の小さい方から5尾を測定した(Table 2)。このうち最小はフォーク長23.8cm、体重365gである。2才魚について雌の群成熟率を調べたところ、11.1%であり、3才魚について1973年6月の産卵盛期に同様調査したところ、83.3%であった。

以上養成イシダイは雄は生後満1年で、雌は満2年でその一部が成熟し、その最小個体は雄：フォーク長13.3cm、体重55g、雌：フォーク長23.8cm、体重365gで生物学的最小形に達することが明らかとなった。

第2節 成 熟

1. 成 熟 期

養殖イシダイの成熟期を正確に把握するために生殖腺指数（以下GIという）の季節的变化を調べた。1969年5月に人工ふ化し満1年飼育した若魚を、1970年5月から1974年7月まで5ケ年にわたり、10～30日間隔に雌雄各5尾を無作為に採取し、魚体各部を測定した後、生殖腺を取り出し、重量を測定した。生殖腺指数は（生殖腺重量 / フォーク長³）×10⁵で表わした（Fig. 16）。これによると、雄のGIは生後1年の1970年5月には3.4～7.6と小さかったが、6～7月中旬には3.0～23.0とやや大きくなった。この時一部の雄に指圧により放精する個体が認められた。7月中旬からGIは小さくなり9月には0.6～2.6と最低となった。翌年の1971年3月まで2.5～15.6であったが、4月下旬に急に増大し4.7～75.6となり、ほとんどが放精した。5月中旬～7月上旬まで28.0～224.5と大きかったが、このうち5月、6月のやや低い部分はすでに放精した個体が混っていたためである。7月中旬からさらに低くなり精巢は縮小し、9月上旬には3.0～7.0と小さくなった。その後は毎年同様な経過を辿った。

次に外観から卵巣が識別できたのは、生後約1年後の1970年6月中旬であったが、この時期には未だ熟卵は認められず、翌1971年5月上旬までGIは低かった。5月中旬より徐々に値を増し、5月下旬から6月上旬には急に増大し、6月下旬から7月上旬には最高に達した。この時初めて一部に熟卵をもつ個体が認められた。7月中旬から次第に下降線を辿り、9月上旬からは一定の低い値となった。ふ化後3年目の1972年には、3月中旬から急にその値が増大し、6月中旬には平

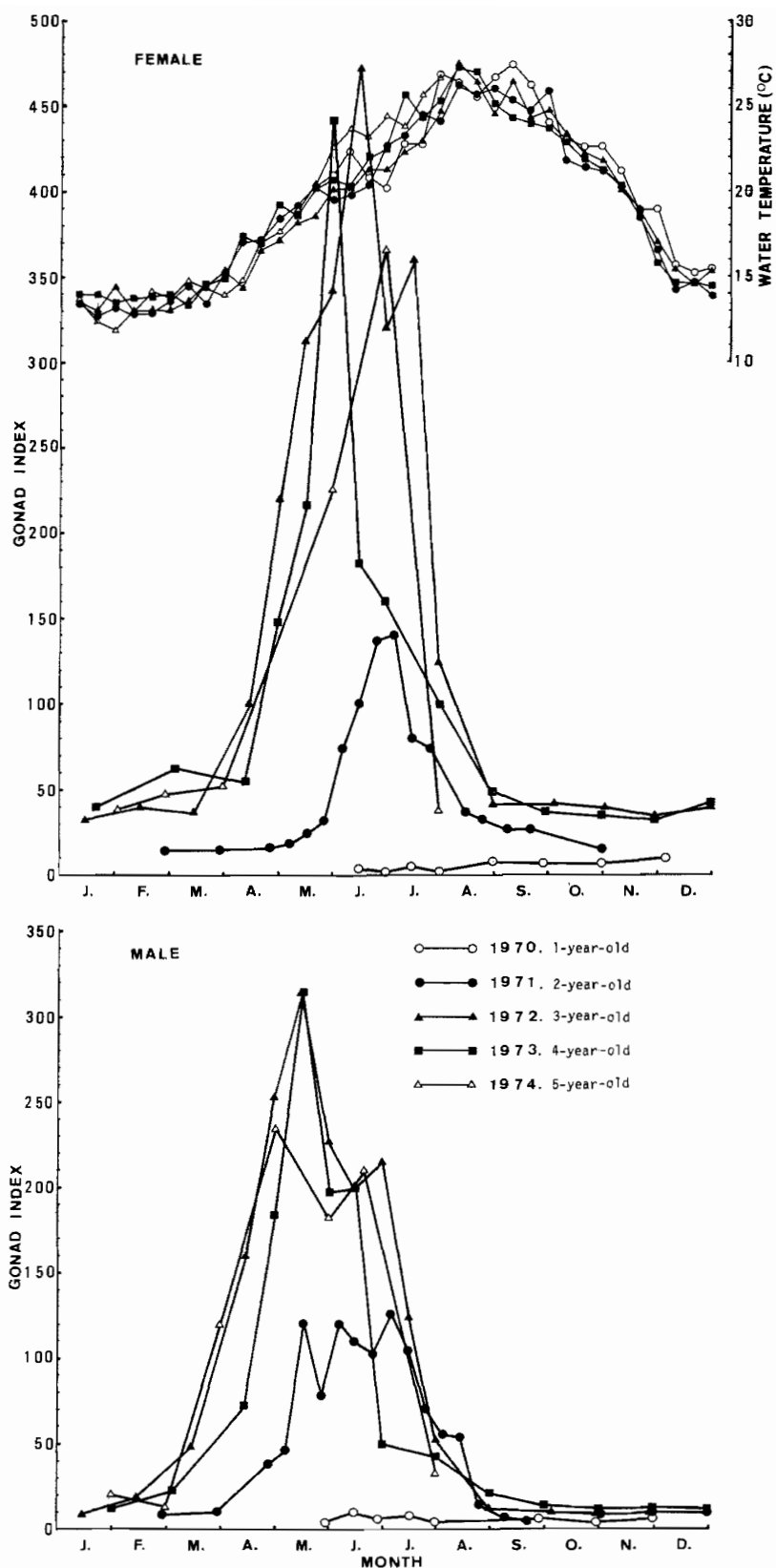


Fig. 16 Seasonal changes in gonad index and water temperature during 5 years of culture.

均465.6と最高を示し、大部分が熟卵をもつことが確認された。7月中旬から下降線を辿り、8月末には平均40.5となりその後は一定の低い値となった。この傾向はその後毎年ほとんど同様であった。

以上5ヶ年間にわたるGIの季節的変化を通観すると、満1年の6～7月に雄の一部が成熟し、放精するが雌は成熟しない。満2年目には雄のほとんどは放精し、雌の一部は成熟するがGI値はさ程大きくない。満3年目には大部分の雌が成熟し、GIは平均400前後になり最高535.4に達する。またいずれの年にも雄の成熟が先行するが、GIの最高値は雌のそれより小さい。GIと水温の関係では、最低水温の2月上旬から水温上昇に伴いGIも次第に大きくなり、水温18～20℃で雄のGIがピークに達し、続いて21～24℃で雌のGIがピークに達する。水温25℃を越えると両性ともGIは急に小さくなる。

以上GIからみたイシダイの産卵は、水温が20℃以上に達した時であり、25℃前後まで続きその盛期は21～24℃である。産卵期間は年により多少の変動はあるが、紀南地方においては5～7月の間である。

2. 卵径組成

1項ではGIの季節的変化から成熟期を明らかにしたが、ここでは卵径組成の変化と卵の成熟度からイシダイの成熟様式の解明と、成熟過程を追跡した。実験に先だち飼育3年魚を用い、透明卵を含んだ成熟卵巣とそれを含まない未成熟卵巣を選び、卵巣の左右卵巣前端、後端及び中央の中

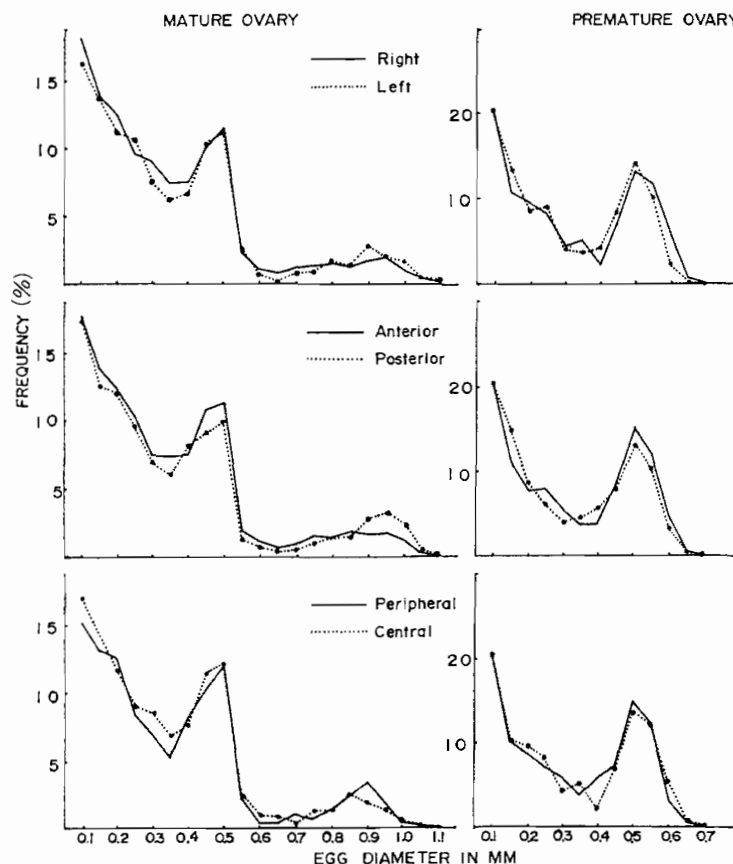


Fig. 17 Frequency distributions of egg diameter in the mature and premature ovary. Top, right and left ovaries; middle and bottom, different portions of the right ovary.

心部と表層部からそれぞれ卵団を採取して各部位による卵径組成を比較した (Fig.17)。この結果、各部位間の卵径組成には有意の差がなく、卵は一様に分布していることが明らかになったので、次の実験を行った。飼育3年魚の中から1972年2月より1973年1月までの1年間にわたり、1ヶ月に1～2回の割合で雌雄各5尾を無作為に取りあげ、魚体各部を測定した後、生殖巣を採取し、

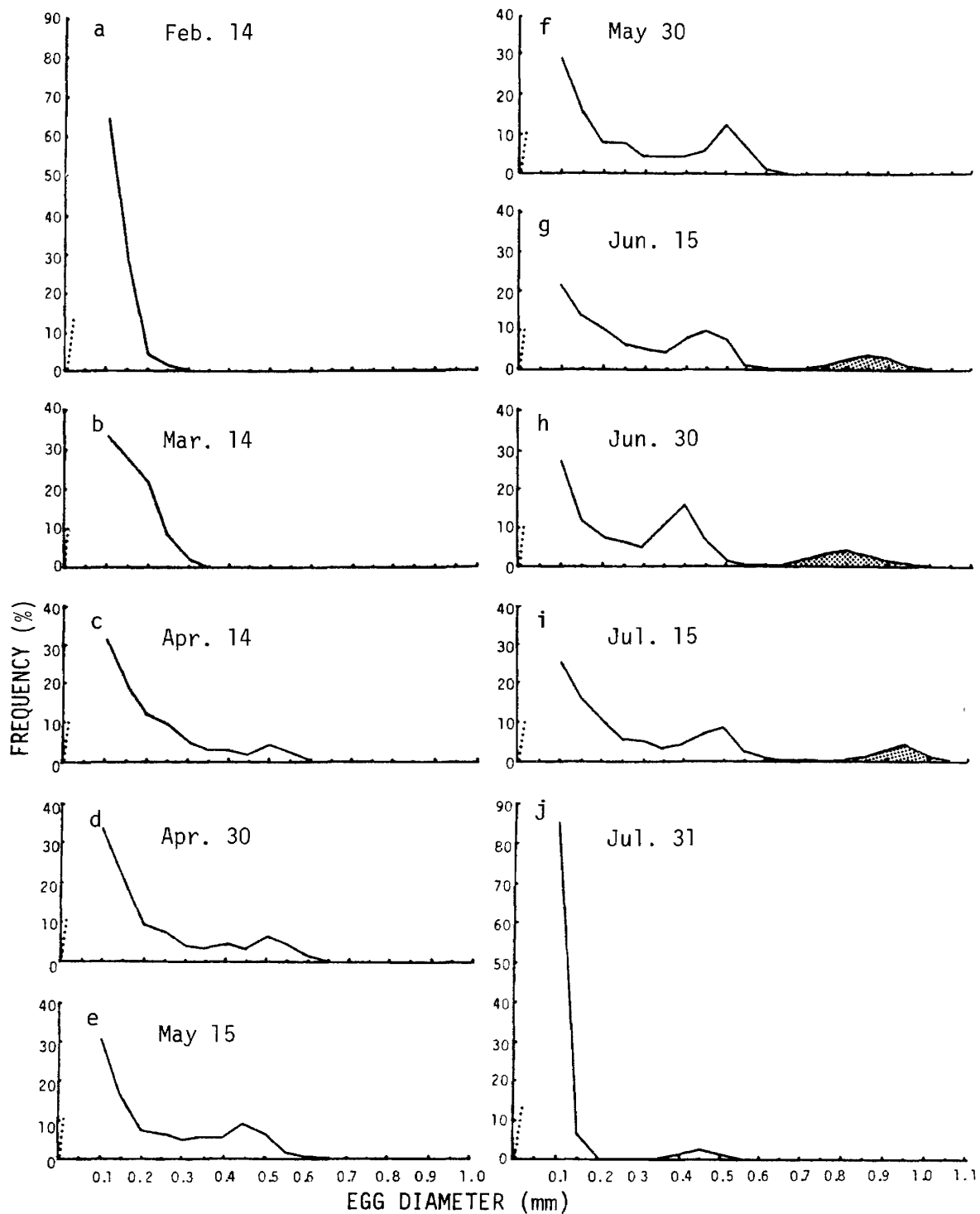


Fig. 18 Frequency distributions of the diameter of ovarian egg in ovaries of different developmental stages. Shadow parts showing the mature eggs.

計測して10%ホルマリンで固定した。なお魚体の取りあげは、毎回午後3時以降とした。採取した生殖巣をもとにGIを算出し、各期におけるGIの平均値に最も近い1個体の右卵巢の中央部より約100mgの卵団を採取した。取り出した卵団は水中で良くほぐし、顕微鏡計測装置を用いて卵径0.1mm以上の卵を0.05mmの単位で読みとり卵径組成の推移を調べた (Fig. 18)。また成熟度は常法により組織標本を作製して観察した。

2月14日採取の卵巢のGIは38.7で、卵径は0.3mm以下で大部分0.1mmである (Fig. 18-a)。卵は卵黄胞期に達したもの他、周辺仁期及び染色仁期のものが混在する (Fig. 19-1)。その後、卵径組成は僅かながら大きい方へ移動し、4月14日にはGI 97.8となり、0.5mmを頂点とする1つの山を形成する (Fig. 18-c)。その後GIは少しずつ大きくなるが、卵径組成のパターンはほとんど変らない。しかし5月30日にはGIは変異が大きくなり197.2~501.1を示し、卵径0.5mmを頂点とする山が高くなる (Fig. 18-f)。6月15日にはGIは411.5となり最大となる。卵径0.45mmを頂点とす

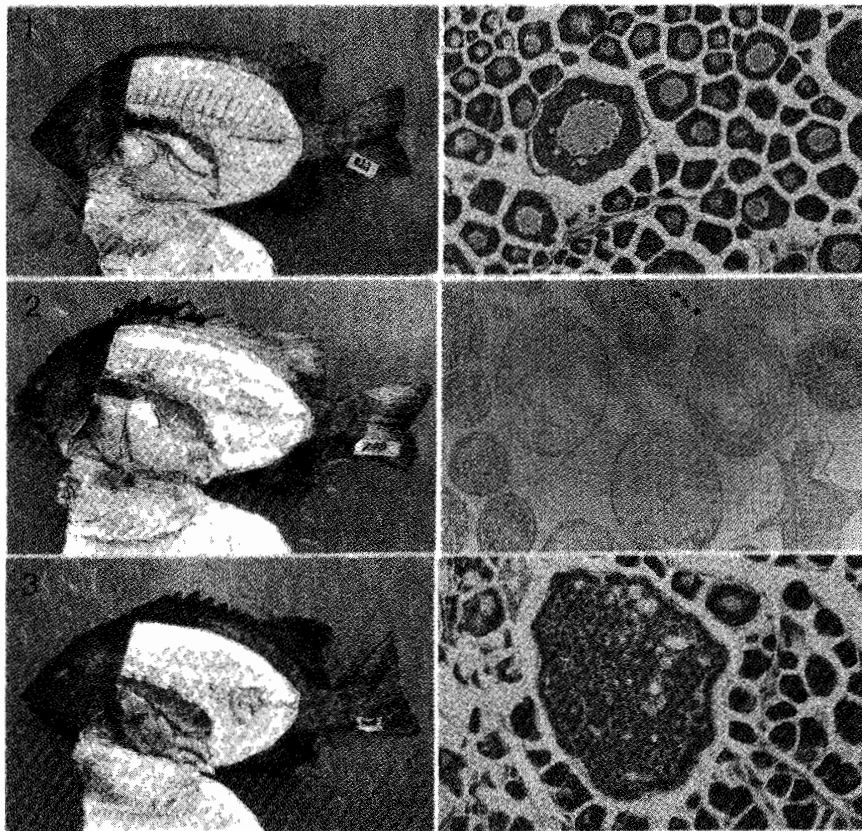


Fig. 19 Gonad development and cross-section. 1, left: female with ovary 7.6g in weight, taken on Feb. 14; right: cross-section showing the stage of yolk vesicle, pre-nucleus and chromatin nucleus; 2, left: female with ovary 68.8g in weight, taken on Jun. 30; right: cross-section showing the mature eggs; 3, left: female with ovary 13.5g in weight, taken on Jul. 31; right: cross-section showing the mature eggs failed to ovulate.

る山は0.55mmで一旦途切れ、0.7mm以上の大型卵が出現し、0.85mmを頂点に0.95mmまで続く (Fig. 18—g)。この大型卵は透明で、組織切片からも成熟卵であることが証明された (Fig. 19—2)。6月30日及び7月15日にはGIはそれぞれ327.2, 378.7となり、卵径組成の山は多少ずれているものの全体としてのパターンには変化なく、産卵期の範囲に入っていることを示す (Fig. 18—h, i)。7月31日にはGIは53.5~235.8と変異が大きく、一部は産卵中のものもあるが、大部分は産卵を終了したことを意味する。卵径組成をみても0.1mmが大部分 (83.1%) を占め、0.35~0.55mmの範囲で0.45mmを頂点とする小さな山を形成する (Fig. 18—j)。この卵は産卵に至らなかったいわゆる残留卵と思われる (Fig. 19—3)。それ以後これらの残留卵は吸収され、残りは0.1mm以下の卵として越冬する。

以上主として卵径組成の変化から、イシダイの成熟過程を追跡した結果、成熟様式は多峰型で、産卵期間中、何回も産卵を繰り返す多回産卵型であることが明らかとなった。

第3節 産 卵

1. 卵巣内卵数

1969年及び1970年に人工ふ化した2~4 戈魚 (フォーク長24~33cm) を用い、1971~'74年の産卵期に成熟卵を含んだ個体を選び、フォーク長、体重を測定した後、卵巣を取り出し10%ホルマリンに固定した。その卵巣重量を測定し、右卵巣の中央部表層から100mgの卵団を採取し、卵径0.1mm以上の全卵数を計数し、卵巣内総卵数を求めた。なお卵巣重量のうち卵巣膜隔壁など卵以外の物質重量は、卵巣10個の平均が3.24%であったのでこの値を差し引いた重量をもって卵巣重量とした。

以上から親魚のフォーク長と卵巣内総卵数の関係 (Fig. 20)、卵巣重量と卵巣内総卵数の関係 (Fig. 21) をそれぞれ求めた。これから前者は、変異は大きい成長に伴い総卵数が増大する直線的傾向が認められ、この大きさの親魚では約30~340万粒の卵を保有している。後者も卵巣重量が大きくなる程総卵数も多くなる傾向があるが、重量の増加に伴い変異が大きくなる。この大きさの成熟親魚の卵巣重量は約30~135gあり、総卵数は卵巣50g前後で約50~120万粒、100gで100~300万粒と推定される。

すでに述べたようにイシダイは多回産卵型であり、卵巣卵の一部が成熟、産卵されると次々に卵細胞の増殖が起こる。したがって卵巣内総卵数はその時の一断面を示すものであり、必ずしも産卵数を示すものではなく、大方の場合、総産卵数は卵巣内総卵数を上まわることが予想される。

2. 産出卵数

多回産卵魚であるイシダイが、1回にどれ程の卵を産出するかを3つの実験から求めた。

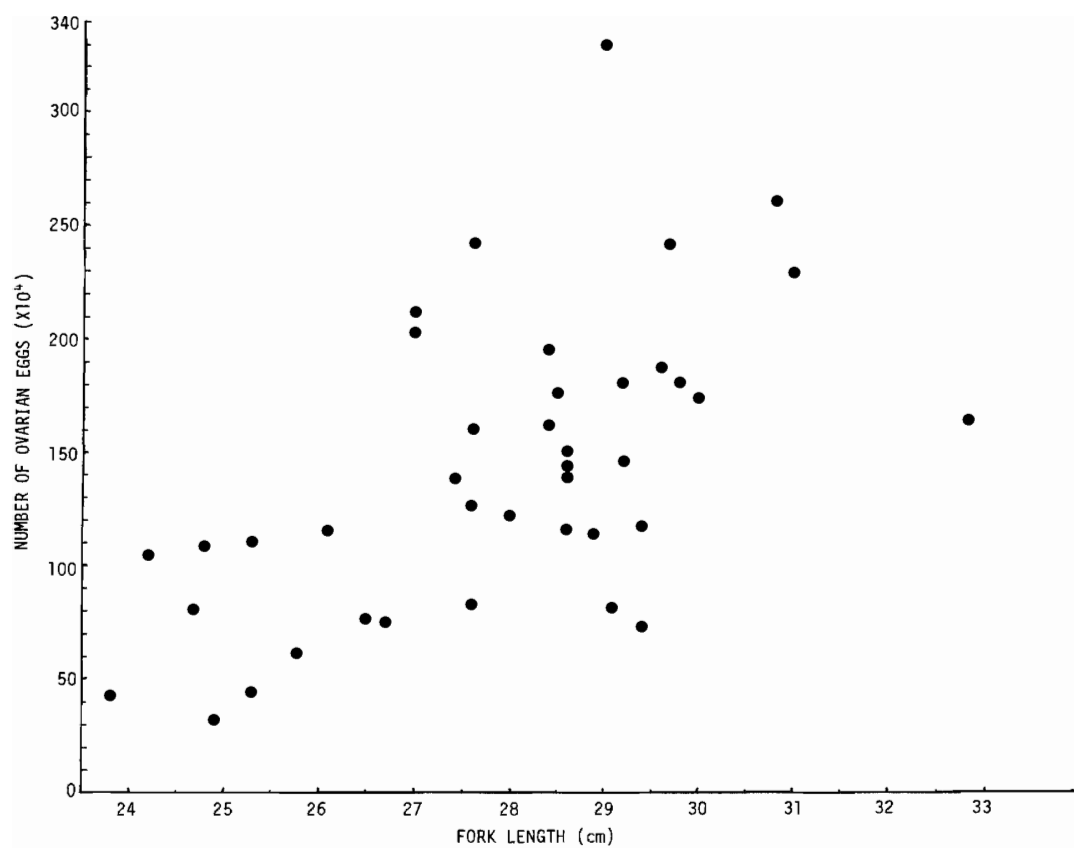


Fig. 20 Relation between fork length and number of ovarian eggs.

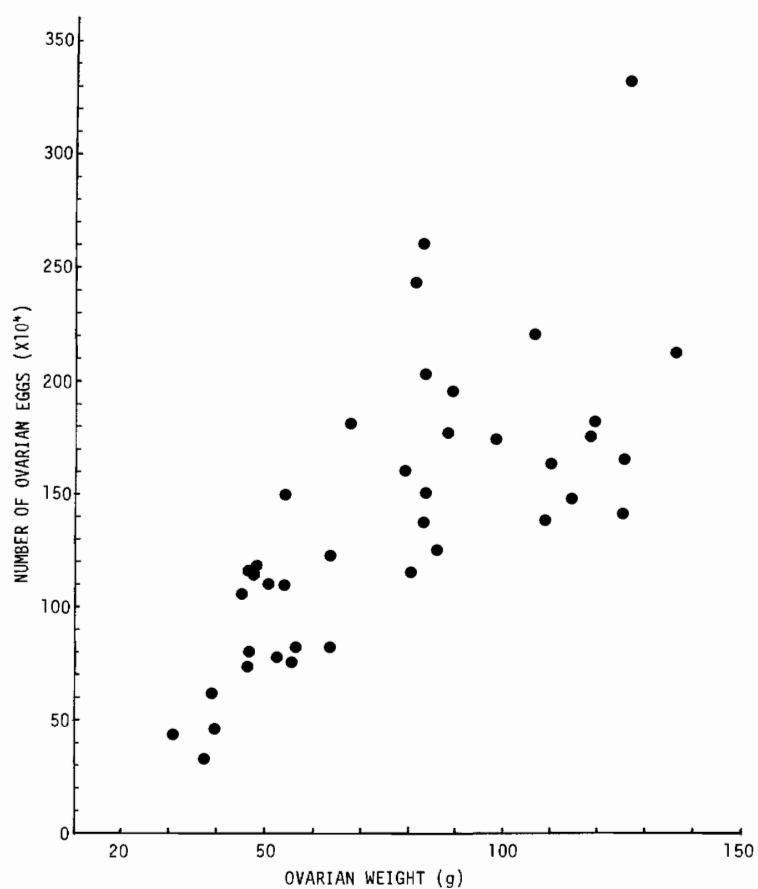


Fig. 21 Relation between ovarian weight and number of ovarian eggs.

Table 3 Number of matured eggs in ovarian eggs in females of different sizes.

No. of fish	Fork length(cm)	Body weight(g)	Total no. of eggs	Rate of maturation(%)	No. of matured eggs
1	23.8	365	434,300	12.77	55,460
2	24.2	382	1,007,000	4.92	49,544
3	24.7	425	807,100	8.03	64,810
4	24.8	400	1,110,100	18.62	206,793
5	24.9	415	326,900	15.87	51,870
6	25.3	427	1,106,900	8.49	93,976
7	25.3	465	452,200	12.21	55,214
8	25.8	445	614,500	8.67	53,277
9	26.1	465	1,154,500	5.57	64,306
10	26.5	470	772,000	13.01	100,437
11	26.7	620	756,300	17.75	134,243
12	27.0	620	2,022,700	15.26	308,664
13	27.0	650	2,125,600	11.35	241,256
14	27.4	560	1,387,200	13.57	188,243
15	27.6	600	1,267,400	11.74	148,793
16	27.6	610	823,300	11.65	95,914
17	27.6	555	1,601,400	6.36	101,849
18	27.6	605	2,420,500	6.86	166,046
19	28.0	515	1,227,200	6.73	82,591
20	28.4	635	1,961,900	8.97	175,982
21	28.4	660	1,628,800	14.09	229,498
22	28.5	740	1,777,300	12.34	219,319
23	28.6	645	1,171,300	11.50	134,700
24	28.6	645	1,457,300	10.04	146,313
25	28.6	650	1,588,000	3.01	45,707
26	28.6	610	1,396,600	10.12	141,336
27	28.9	605	1,145,900	7.76	88,922
28	29.0	690	3,326,100	5.39	179,277
29	29.1	605	820,700	20.74	170,213
30	29.2	720	1,478,000	8.38	123,856
31	29.2	640	1,811,700	9.89	179,177
32	29.4	610	747,000	9.14	68,276
33	29.4	620	1,190,400	8.63	102,732
34	29.6	750	1,885,300	9.57	180,423
35	29.7	720	2,426,500	8.67	210,378
36	29.8	810	1,823,400	11.86	216,255
37	30.0	765	1,751,400	11.62	203,513
38	30.8	740	2,612,500	9.73	254,196
39	31.0	785	2,305,500	5.63	129,800
40	32.8	960	1,666,800	12.32	205,350

卵巣卵から求めた産出卵数：飼育 2～5 戈魚の成熟期にあるものの中から卵巣内に熟卵（透明で卵巣の外観から識別できる）を含む40個体を選び、卵巣重量を測定した。この中から一定量の卵団を抽出し、それに含まれる熟卵から含有率を求め、これから総熟卵数を算出した (Table 3)。この熟卵数を産卵数と見做せば、フォーク長24～26cmの親魚の1回の産卵数は約5万粒前後、28～30cmで約10～20万粒前後と大型親魚程1回の産卵数が多い傾向が認められる。

水槽内産卵により求めた産出卵数：1971年の実験には飼育 4 戈魚を、1972年の実験には飼育 2～5 戈魚及び浦神湾で採捕し、養成した 6 戈魚をそれぞれ用いた。室内の0.5トンパンライト水槽に成熟した雄と、経験的に成熟が進行していると思われる雌を1尾ずつ収容し、産卵をはかった。流水式のため排水口に卵の流出防止のネットを取りつけ、産卵終了後卵を集め、この中からサブサンプルをとりその卵を計数し、産卵数を求めた。産卵を終えた親魚は生簀網に戻し、成熟したものを再び産卵水槽に収容し、繰り返し産卵させ、産卵数を求めた (Table 4, 5)。この結果、親魚の大きさと産卵数の間には弱い正の相関関係が認められ、この中の最高産卵数はフォーク長41.8 cm、体重2,040gで612,200粒であった。

搾出採卵によって求めた産出卵数：1970年の実験は、飼育 3～5 戈の雌親魚24尾から 5 月15日

Table 4 Number of eggs obtained by a single spawning in tank from 4-year old females.

Fish no.	Fork length(cm)	Body weight(g)	Date and time of spawning		Number of spawn
1	34.9	1,170	May 22, 1971	18:15	184,800
			27	16:20	275,400
2	36.8	1,480	May 14	19:05	293,800
			17	16:00	212,400
			Jun. 10	16:05	313,800
			28	19:35	411,000
			Jul. 6	18:20	290,800
3	37.2	1,370	15	18:35	200,000
			May 12	17:30	180,000
			28	12:30	360,000
			Jun. 1	17:00	135,100
			9	11:25	288,600
4	37.6	1,350	Jun. 13	21:40	316,000
			17	16:45	193,700
			19	17:05	291,800
5	38.0	1,590	Jul. 19	18:00	196,800
6	40.4	1,740	May 22	18:00	116,400
			Jun. 23	17:15	220,800

Table 5 Number of eggs obtained by a single spawning in tank from 2 to 6-year old females.

Fish no.	Fork length(cm)	Body weight(g)	Date of spawning	No. of spawn
1	22.5	430	May 20, 1972 21	72,200 66,200
2	27.4	535	May 21 Jun. 11	116,400 15,000
3	27.4	580	May 21 Jun. 12	134,800 115,200
4	28.3	660	May 21	144,800
5	28.7	685	May 21 24 Jun. 3 27 Jul. 9	17,000 35,800 59,200 190,600 33,400
6	31.8	930	May 12 15	231,800 191,400
7	33.0	1,170	May 24 30	3,000 239,800
8	33.2	1,050	Jun. 1 2 10 11 14 17 21 25 Jul. 4 8	117,000 40,200 80,600 169,000 176,200 188,800 144,600 209,600 81,600 81,200
9	35.0	1,180	May 23 Jun. 3 4 10 26 27 Jul. 3 5 9	146,000 182,400 41,700 243,200 117,800 118,800 149,600 219,800 5,400
10	35.0	1,290	May 24 30 Jun. 11	232,600 211,800 255,800
11	35.3	1,490	May 24 25 Jun. 10	115,000 208,200 164,400
12	36.2	1,380	Jun. 1	185,600
13	36.2	1,380	May 17 21 Jun. 10 Jul. 4	84,000 272,000 323,400 132,800
14	40.9	2,100	May 13 18 22 29	377,400 18,800 475,000 471,800
15	41.8	2,040	May 29 Jun. 9 30 Jul. 5	316,200 386,200 189,600 612,200

～6月8日の間に24回採卵し、1971年の実験は、飼育3戈魚の雌親魚5尾から5月14日～6月27日の間に5回採卵して、それぞれその卵を計数した(Table 6, 7)。搾出法による採卵数は一般に水槽内産卵法による採卵数より少ない傾向にあるがこの場合、水槽内産卵では成熟した卵が卵巢

Table 6 Number of eggs artificially obtained by a single abdominal pressing from 3 to 5-year old females in 1970.

Fish no.	Fork length (cm)	Body weight (g)	Number of eggs
1	33.0	960	162,680
2	35.2	1,300	131,600
3	35.3	1,200	117,730
4	35.3	1,800	141,800
5	35.4	1,120	119,400
6	35.5	1,600	228,960
7	36.3	1,290	148,600
8	36.4	1,120	123,200
9	36.7	1,350	114,000
10	37.0	1,550	126,800
11	37.8	1,600	315,200
12	38.0	1,350	197,630
13	39.2	1,640	308,800
14	39.4	1,700	180,600
15	39.6	1,750	251,000
16	40.0	1,700	163,500
17	40.8	1,850	267,400
18	41.0	1,700	327,800
19	42.4	1,900	210,400
20	43.0	2,000	170,400
21	43.7	2,170	225,800
22	43.7	2,440	354,400
23	45.4	2,350	309,800
24	46.0	2,350	123,500

Table 7 Number of eggs artificially obtained by a single abdominal pressing from 3 to 5-year old females in 1971.

Fish no.	Fork length(cm)	Body weight(g)	Date	Number of eggs
1	34.9	1,170	Jun. 23	137,600
2	37.2	1,370	May 14	172,200
3	38.0	1,590	26	178,000
4	38.0	1,590	Jun. 27	153,400
5	40.4	1,740	27	260,200

腔に集結し、産卵されるべき卵が総て整ってから産出されるのに対し、搾出採卵では卵巣腔に総て集結しないうちに搾出されるために熟卵数が少ないのではないかと推察される。

以上異なる3方法で求めた1回の産出卵数と親魚の大きさとの間には正の相関が認められ、産出卵数はフォーク長25cmで約5～10万粒、30cmで約5～25万粒、35cmで約5～30万粒、40cmで約10～45万粒と推定される(Fig. 22)。

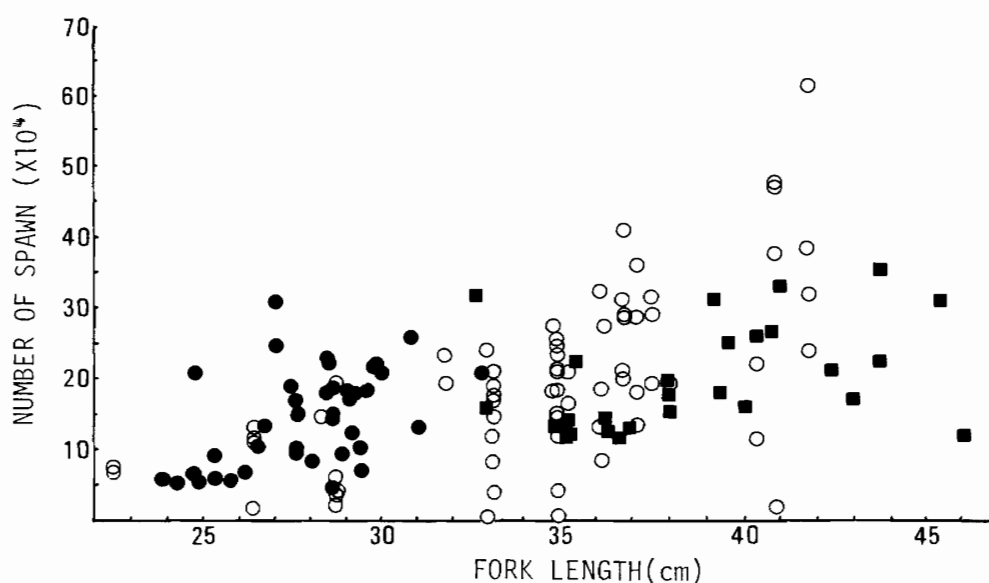


Fig. 22 Relation between the fork length and number of eggs per single spawning. Solid circle, estimation from the number of ovarian eggs; open circle, tank spawning; solid square, artificially obtained eggs.

3. 産卵回数と総産卵数

イシダイの産卵回数及び総産卵数を明らかにする目的で、以下の4実験を行った。

実験1：飼育4才の雌6尾（フォーク長34.9～40.4cm、体重1,170～1,740g）を別の生簀網に選別して収容し、一方成熟雄1尾を0.5トンパンライト水槽に収容した。生簀網中の雌が産卵する時期を見計らって、1尾ずつ雄の水槽に収容して産卵させることを繰り返し、産卵確認後集卵して計数した。また時々搾出法も試み、搾出卵を計数した（Table 8）。この結果、産卵回数は3～6回で、総産卵数は528,200～1,721,800粒であった。

実験2：飼育2～5才の雌16尾（フォーク長22.5～47.1cm、体重430～3,000g）を用い、0.5トンパンライト水槽に成熟度の進んでいる雌雄各1尾を収容して産卵させ、これを集卵して計数した（Table 9）。この結果、産卵回数は1～10回で、総産卵数は131,400～1,620,800粒であった。

実験3：飼育5才の雌1尾（フォーク長33.5cm、体重1,150g）を用い、0.5トンパンライト水槽に雄3尾と共に収容し、産卵させ卵を計数した（Table 10）。この結果、26回の産卵がみられ、

Table 8 Number of eggs spawned and frequency of spawning by 4-year old females.
(Experiment 1)

Fish no.	Fork length(cm)	Body weight(g)	Method of spawning	Date	No. of eggs spawned	Total no. of eggs spawned	Frequency of spawning
1	34.9	1,170	natural	May 22	184,800	597,800	3
			artificial	Jun. 23	137,600		
			natural	27	275,400		
2	36.8	1,480	natural	May 14	293,800	1,721,800	6
			〃	17	212,400		
			〃	Jun. 10	313,800		
			〃	28	411,000		
			〃	Jul. 6	290,800		
			〃	15	200,000		
3	37.2	1,370	natural	May 12	180,000	1,135,900	5
			artificial	14	172,200		
			natural	28	360,000		
			〃	Jun. 1	135,100		
			〃	9	288,600		
4	37.6	1,350	natural	Jun. 13	316,000	801,500	3
			〃	17	193,700		
			〃	19	291,800		
5	38.0	1,590	artificial	May 26	178,000	528,200	3
			〃	Jun. 27	153,400		
			〃	Jul. 19	196,800		
6	40.4	1,740	natural	May 22	116,400	597,400	3
			〃	Jun. 23	220,800		
			artificial	27	260,200		

総産卵数は1,616,400粒であった。

実験 4：飼育 5 ～ 7 才の雌 10 尾（フォーク長 38.3 ～ 47.3cm 平均 42.1cm，体重 2,300 ～ 3,700 g 平均 2,480g）雄 5 尾（フォーク長 34.6 ～ 40.2cm 平均 37.6cm，体重 1,900 ～ 2,500 g 平均 2,260g）を室内の 7 トン円型 F.R.P 水槽（直径 3 m，水深 1 m）に収容し，産卵させた。この場合，排水口に集卵ネットを設け排水と共に流出してくる卵を毎翌朝 9 時に集め計数した（Table 11）。この結果，5 月 14 日の産卵開始以来 17，18 日の 2 日を除いて 7 月 25 日まで毎日産卵した。1 尾の産卵回数は毎日の産卵状況が多少を繰り返す傾向から，同じ個体が連日産卵するとは考えられず，少くとも隔日またはそれ以上の間隔であろうと思われる。これから推察するとこの実験での 1 尾の産卵回数は 30 回前後であろう。また 1 尾の総産卵数は 10 尾の平均をとれば，7,500,790 粒である。

Table 9 Number of eggs spawned and frequency of spawning by 2 to 5-year old females.
(Experiment 2)

Fish no.	Fork length(cm)	Body weight(g)	Date	No. of eggs spawned	Total no. of eggs spawned	Frequency of spawning
1	22.5	430	May 20 21	72,200 66,200	138,400	2
2	27.4	535	May 21 Jun. 12	116,400 15,000	131,400	2
3	27.4	580	May 21 Jun. 12	134,800 115,200	250,000	2
4	28.7	660	May 21	144,800	144,800	1
5	28.7	685	May 21 24 Jun. 3 27 Jul. 9	17,000 35,800 59,200 190,600 33,400	336,000	5
6	31.8	930	May 12 14	231,800 191,400	423,200	2
7	33.0	1,170	May 21 30	3,000 239,800	242,800	2
8	33.2	1,050	Jun. 1 2 10 11 14 17 21 25 Jul. 4 8	117,000 40,200 80,600 169,000 176,200 188,800 144,600 209,600 81,600 81,200	1,288,800	10
9	35.0	1,180	May 23 Jun. 3 4 10 26 27 Jul. 3 5 9	146,000 182,400 41,700 243,200 117,800 118,800 149,600 219,800 5,400	1,224,700	9
10	35.0	1,290	May 24 30 Jun. 11	242,600 211,800 255,800	710,200	3
11	35.3	1,490	May 24 25 Jun. 10	115,000 208,200 164,400	487,200	3
12	36.2	1,380	Jun. 1	185,600	185,600	1
13	36.2	1,380	May 17 21 Jun. 10 Jul. 4	84,000 272,000 323,400 132,800	812,200	4
14	40.9	2,100	May 13 18 22 29	377,400 18,800 475,000 471,800	1,343,000	4
15	41.8	2,040	May 29 Jun. 9 30 Jul. 5	316,400 386,200 189,600 612,200	1,504,400	4
16	47.1	3,000	May 22 28 Jun. 3 Jul. 7	431,800 456,000 450,600 282,400	1,620,800	4

Table 10 Number of eggs spawned and frequency of spawning by 1 female and 3 males.
(Experiment 3)

Sex	Fork length(cm)	Body weight(g)	Date	No. of eggs spawned	Frequency of spawning
♀	33.5	1,150	May 28	13,400	1
			Jun. 2	33,100	2
♂	33.9	1,000	3	3,700	3
♂	35.8	1,300	4	51,800	4
♂	32.4	900	6	33,300	5
			9	22,100	6
			12	43,200	7
			15	53,700	8
			16	9,800	9
			17	46,900	10
			20	54,800	11
			23	76,400	12
			25	91,000	13
			27	128,400	14
			29	69,300	15
			Jul. 1	63,200	16
			3	68,600	17
			6	89,200	18
			8	69,800	19
			10	117,800	20
			12	79,800	21
			14	104,600	22
			16	89,800	23
			18	56,400	24
			20	62,100	25
			23	84,200	26
			Total	1,616,400	26

以上4実験から実験1, 2は雌雄単数であり, 魚類本来の産卵生態と異なり限定された環境にあったためか産卵回数, 産卵数共に少ない。これに対し実験3の雌単数, 雄複数の場合は, 産卵回数は26回と多く, 産卵数も魚体の大きさの割合には多い。また実験4の雌雄複数で自然の生殖生態に最も近いと思われる環境の場合は, 産卵回数は約30回と多い。総産卵数について, これまでの報告例は熊本水試(1972)の平均体重1,790gで100~200万粒, 長崎水試(1975)の平均フォーク長37.0cmで約200万粒, 和歌山水試(1974)の平均体長30.06cmで394万粒などがある。実験4の結果は数字の上からこれらをはるかに上まわった。しかし先に述べたように, 産卵数と魚体の大きさには正の相関が認められるので, このことを勘案すれば, 1回当たりの平均的産卵数は和歌山水試の例とほぼ同様の成績である。

Table 11 Number of eggs spawned by 10 females and 5 males. (Experiment 4)

No. and size	Date	No. of eggs spawned	Date	No. of eggs spawned
♀ 10 fish	May 14	171,000	Jun. 21	676,000
Fork length 38.3—47.3cm	15	10,900	22	1,560,000
〃 mean 42.1cm	16	1,000	23	585,200
Body weight 2,300—3,700g	19	367,200	24	1,195,000
〃 mean 2,480g	20	31,800	25	88,400
	21	158,200	26	1,697,400
♂ 5 fish	22	82,600	27	295,800
Fork length 34.6—40.2cm	23	406,800	28	347,200
〃 mean 37.6cm	24	535,000	29	98,600
Body weight 1,900—2,500g	25	1,235,400	30	329,200
〃 mean 2,260g	26	508,200	Jul. 1	1,086,000
	27	786,800	2	740,000
	28	1,460,000	3	1,329,000
	29	952,800	4	418,800
	30	216,600	5	1,165,200
	31	2,470,000	6	350,800
	Jun. 1	772,200	7	2,160,000
	2	2,175,000	8	240,300
	3	1,562,000	9	1,600,200
	4	1,582,500	10	165,000
	5	1,932,000	11	829,800
	6	1,227,000	12	606,000
	7	1,706,400	13	189,400
	8	2,292,600	14	477,400
	9	981,200	15	407,100
	10	2,634,000	16	1,718,400
	11	1,547,400	17	850,200
	12	3,000,000	18	744,400
	13	496,000	19	1,361,400
	14	3,907,400	20	1,480,200
	15	918,600	21	1,168,200
	16	1,290,600	22	1,599,600
	17	1,103,000	23	884,400
	18	2,819,700	24	1,162,800
	19	772,000	25	616,600
	20	2,670,000		
Av. (1 female)				7,500,790

4. 産卵条件と産卵行動

産卵条件：イシダイの産卵に影響を及ぼすと考えられる天候、水温、海水比重などとの関係について調べた。

1967年、人工ふ化した3才の雌25尾（フォーク長29.4～30.4cm）を生簀網で飼育しながら実験した。産卵判定は原則として搾出採卵で、その卵が受精可能であることを条件とした。実験は5

月上旬から7月下旬まで行い、毎日15~17時の間、成熟していると見做される個体から搾出採卵を試みた。また4月20日から7月20日までの3ヶ月間、毎日10時と16時に表面水温及び海水比重を試みた。

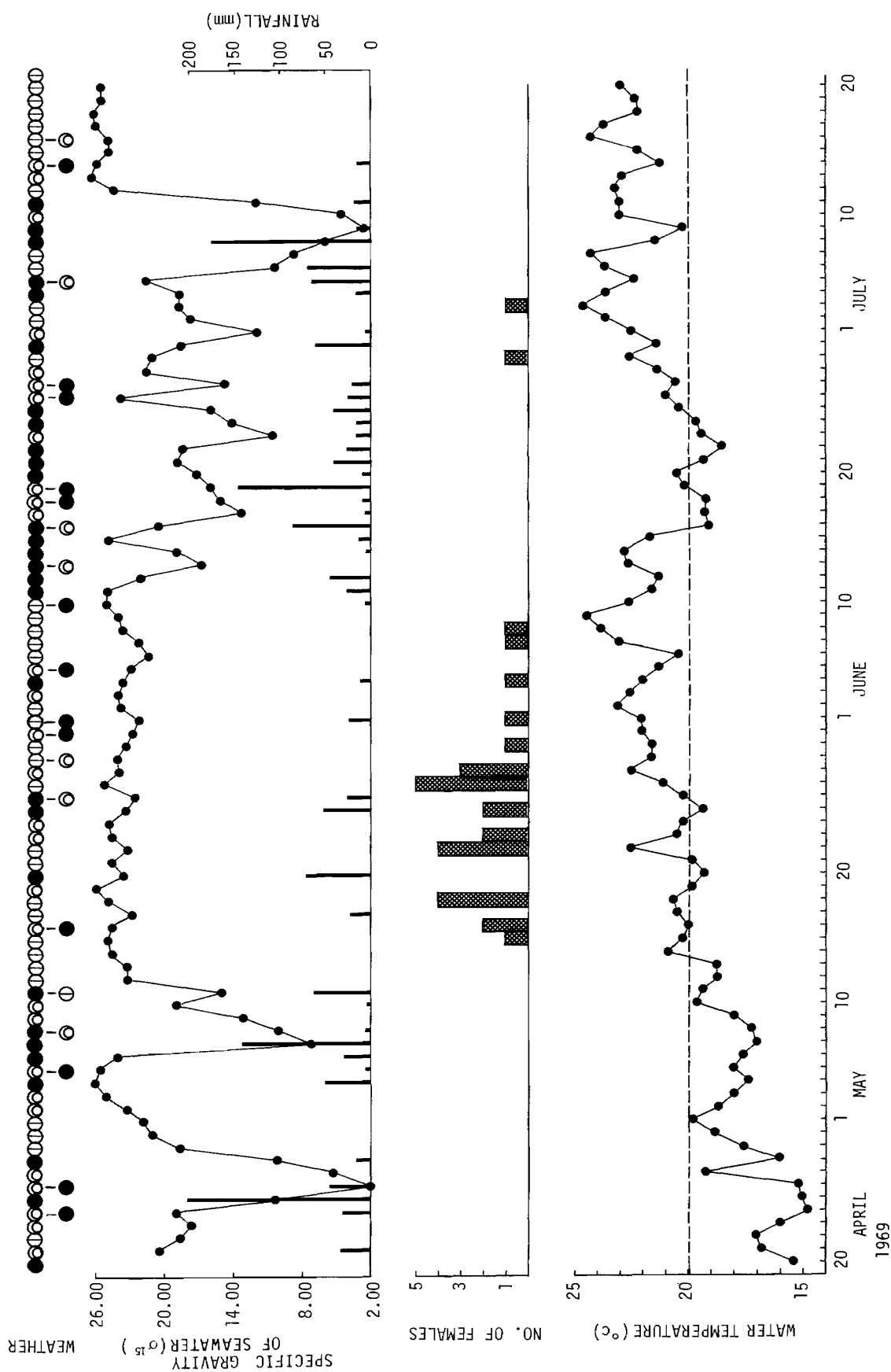


Fig. 23 Daily changes in the number of females in which eggs could be artificially obtained, in relation to some environmental conditions.

を測定した他、天候も記録した(Fig.23)。その結果、水温が20℃を越え、天候も安定し、海水比重も24.00(σ^{15})と高い5月15日から採卵ができたが、降雨のため水温、海水比重共に低下した6月10日から採卵できなくなり、回復した6月29日には再び採卵できた。

以上からイシダイの産卵条件は、水温が20℃以上に上昇し、天候が良く、したがって海水比重も安定して高いことである。

次に第2章、第3節、3項の実験4で行った水槽内自然産卵について、特に水温との関係について考察した(Fig.24)。これによると水温20℃で産卵が開始され、水温上昇に伴い産卵数も次第に増加する。水温24℃前後で最高に達し、その後水温の低下により減少し、再び上昇すると増加するというように水温が微妙に産卵数に影響している。また水温25℃以上になると次第に減少し、28℃以上になると産卵が終了する。

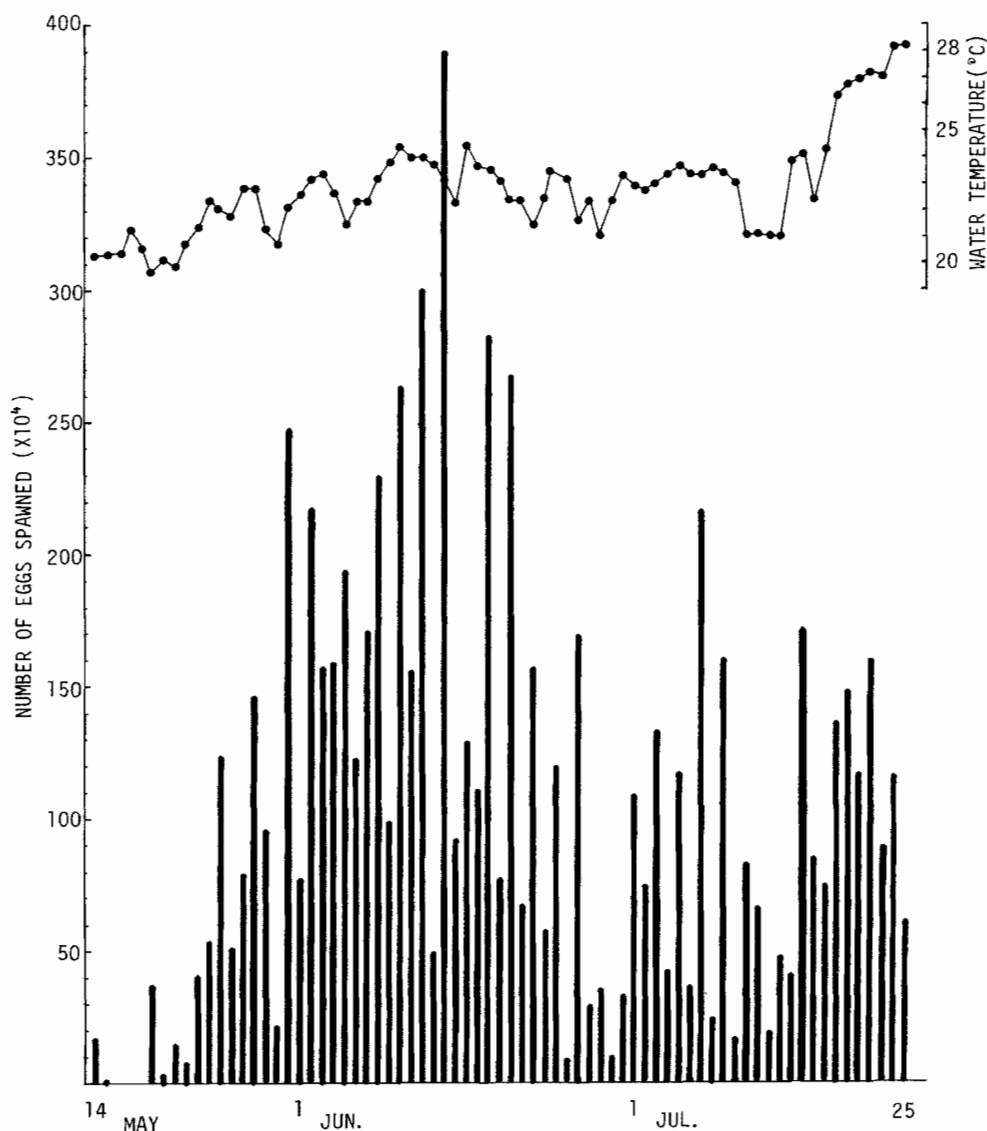


Fig. 24 Daily changes in the number of eggs spawned by 10 females in laboratory tank in relation to water temperature.

以上からイシダイの産卵水温は、20～28℃であり、産卵盛期は21～24℃である。このことは第2章、第2節、1項の生殖腺指数の季節的变化と良く合致する。

完熟時刻：産卵前の卵巣卵の性状とその経時変化を追跡することにより、イシダイの完熟時刻を明らかにした。1967年7月11日6時に、飼育3才魚の中から経験的にその日の夕刻産卵すると思われる雌2尾（No.1：フォーク長28.0cm，体重635g，No.2：フォーク長26.1cm，体重535g）を抽出し、小生簀に分離した。それぞれの卵巣から8時30分から14時30分までは2時間々隔、それ以後18時30分まで1時間々隔に8回にわたり、内径1.5mmの注射針を用い1回当たり約200～300mgの卵団を採取し、10%ホルマリンに固定した。注射針の挿入は内臓を傷つけないように体側から行い、毎回なるべく同じ場所の卵を採取するために同じ穴から同じ深度とした。固定した卵団は水中で良くほぐし、実体顕微鏡計測装置を用いて、卵径0.1mm以上の卵を、0.05mmの単位で読みとり、それぞれ500個を無作為に抽出して卵径組成を調べた。また卵の発生過程をみるために、その組織切片を作製し検鏡した。卵採取中の水温は24.6～25.7℃であった。ここではNo.1の卵径組成の経時変化について述べる。

8時30分の卵径組成は2峰型で、最大卵径は0.6mmである（Fig.25-1）。10時30分には2峰型から3峰型へ移りつつあり、最大卵径は0.65mmである（Fig.25-2）。12時30分には完全な3峰型となり、それぞれのモードは0.25mm，0.45mm及び0.6mmである（Fig.25-3）。14時30分には3つのモードのうち第1，第2のモードは前回とほとんど差はないが、第3のモードは右方（卵径の大きい方）へ移動する（Fig.25-4）。15時30分には第1のモードはやや低くなり、第2のモードが高く、第3のモードはさらに右側に寄り、第2と第3のモードの間隔が広がる（Fig.25-5）。16時30分以降は第3のモードは完全に分離する。

一方卵の形状は8時30分には外観から不透明に見えるが、大部分は中心に胞胚をもち、卵黄球期に相当する（Fig.26-1）。12時30分の卵は半透明のものもあり、胞胚移動期となり、卵黄球の融合が拡大され、大型油球の形成が大部分の卵に認められる（Fig.26-2）。15時30分には卵径0.7mm以上の卵はほぼ透明となり、胞胚が消失して卵黄塊の大型化がみられる（Fig.26-3）。なお前回半透明であった卵径0.7～0.75mmの卵団は、1時間後にはほとんど透明化するという興味ある現象が観察された。17時30分には卵径0.7mm以上の卵はすべて完熟状態となり、18時30分には腹部を軽く圧することにより生殖孔から卵が流出し、その卵は精子を配することにより受精する。

以上のように、8時30分に卵黄球期の卵が7時間後には成熟するようになり、9～10時間後には産卵が行われる。また半透明卵が出現して僅か3～4時間で完熟することが明らかになった。

産卵時刻：イシダイの産卵時刻を明らかにするために、1972年5～7月の間、飼育4才魚の中から雌1尾、雄2～3尾のグループを適宜つくり、その都度8～9時に0.5トンパンライト水槽に

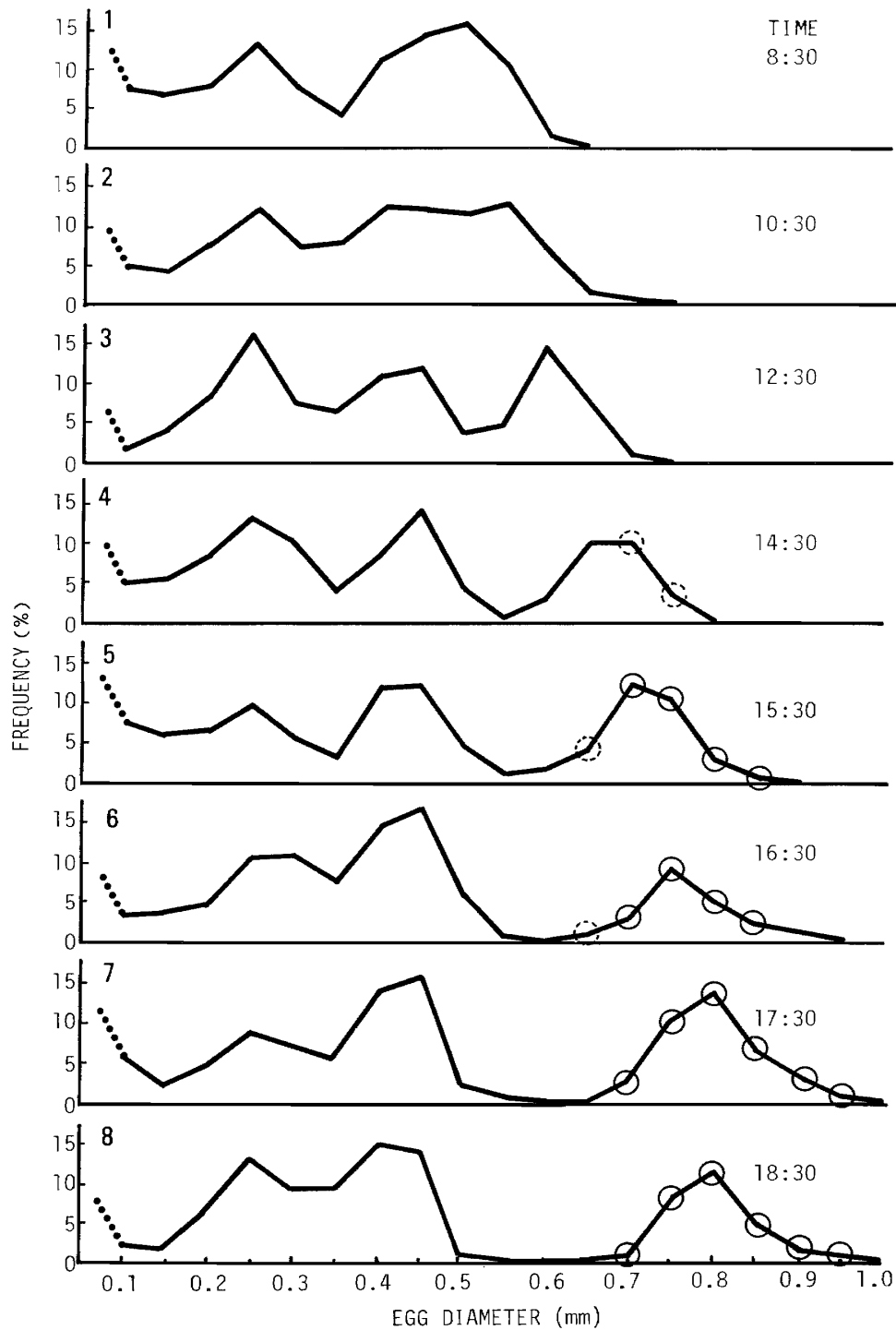


Fig. 25 Hourly changes in frequency distribution of diameter of ovarian eggs obtained from a single female. Dotted line circle, premature eggs; solid line circle, matured eggs.

収容して自然産卵させ、有効卵を産んだ100例について産卵時刻を記録した (Fig.27)。この結果早いものは13時に産卵したが、大部分は16~20時の間で、21時まで続いた。なお夜半0時から1時までの間にも3例認められた。

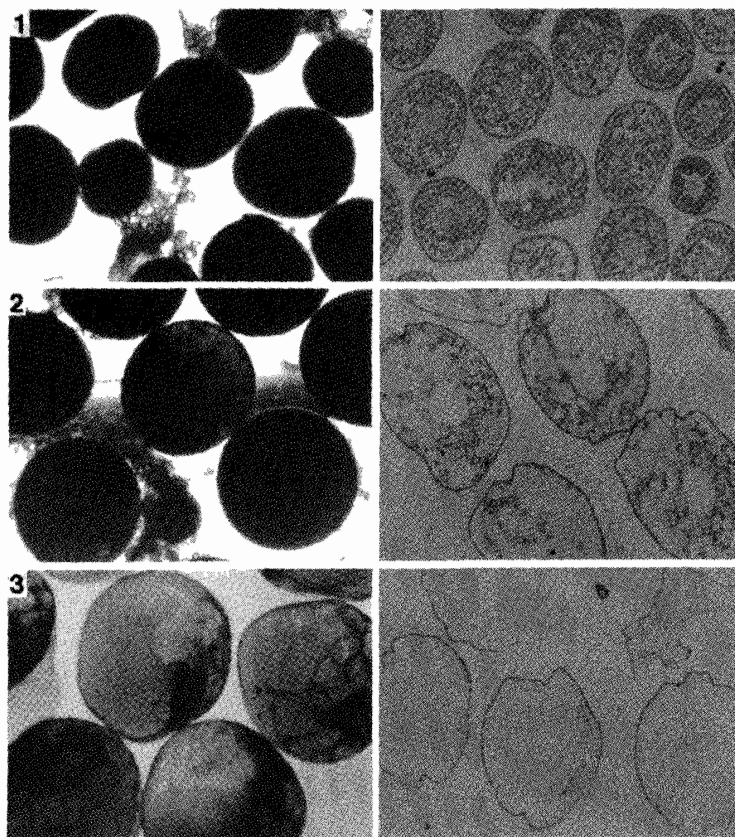


Fig. 26 Three stages of development of ovarian eggs.
1, yolk-vesicle stage; 2, migratory nucleus stage; 3,
mature stage. Right, cross-section.

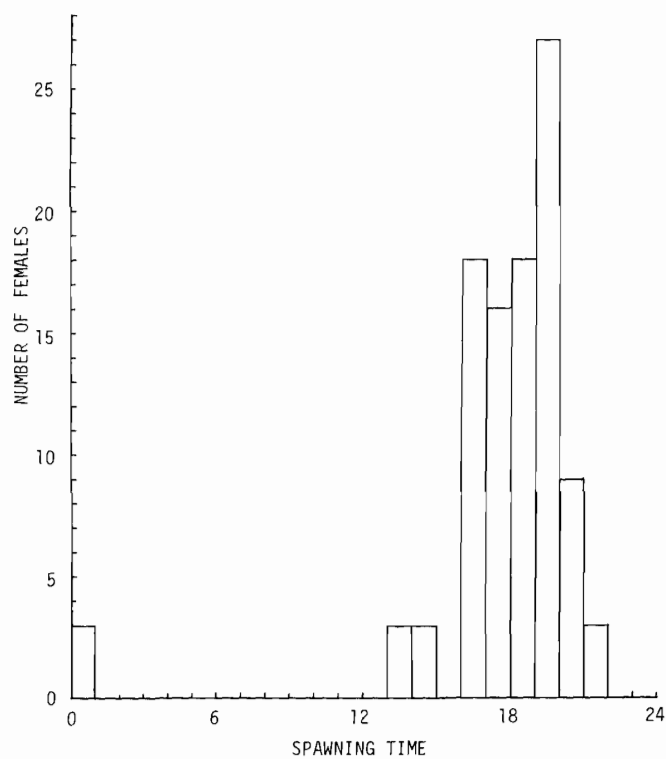


Fig. 27 Hourly changes in the number of
females spawned.

以上の実験から完熟卵がみられる時刻と自然産卵が行われる時刻はほぼ一致し、イシダイの産卵は、日没前後の16～20時の間に最も多く行われることが明らかである。福所他（1975）は養成イシダイで、水戸（1956）は天然イシダイでそれぞれ発生段階から溯って産卵時刻を推定しており、筆者の結果もこれらと一致する。

産卵行動：イシダイの産卵行動を明らかにするため、直径3 m、水深1 mの円形F.R.P.水槽に産卵期の雌40尾（平均フォーク長34.8cm、平均体重930g）、雄20尾（平均フォーク長35.8cm、平均体重980g）を収容し、産卵行動の観察を行った。その結果、日中は下層でほとんど静止またはゆるやかに旋回するが、17時頃になると群は統一行動をとり、中層及び下層を一方向に旋回する。やがて1尾の雌が群から離れてその上部を速力を早めて進み、2～5尾の雄がその後を追う。雌が群に戻るともとの平静さに戻る。この行動を数回繰り返すうちに、1尾の雌が群から急に全速力で水面へ向って上昇すると、雄が3～4尾全速で追尾し、水面で跳ねて水しぶきをあげる。この時表層をネットで抄うと卵が多量に採集できるので、この行動が産卵行動であることを確認した。同様な産卵行動は、生簀網養殖場でもしばしば観察された。

第3章 卵発生及びふ化

第1節 卵及び卵内発生

健全な種苗を量産するためには、先ず受精卵について卵内発生を詳細に調べ、優秀な仔魚を生産する必要がある。ここでは養成親魚から採卵によって得た完熟卵を受精させ、その発生過程を追跡した (Fig. 28)。

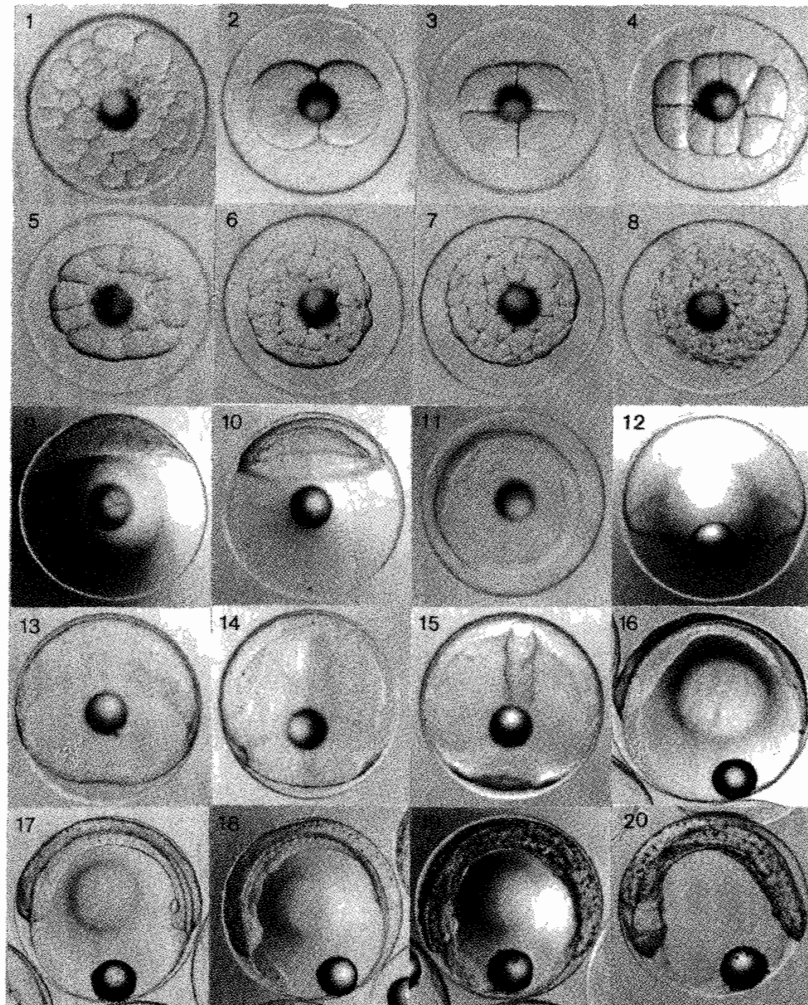


Fig. 28 Development of artificially fertilized egg.

1, unfertilized egg; 2, 2-cell stage, 50 min. after fertilization; 3, 4-cell stage, 1 hr. 20 min.; 4, 8-cell stage, 1 hr. 40 min.; 5, 16-cell stage, 2 hr. 40 min.; 6, 32-cell stage, 2 hr. 20 min.; 7, 64-cell stage, 2 hr. 40 min.; 8, morula stage, 3 hr.; 9, early blastula stage, side view, 8 hr. 10 min.; 10, formation of germ ring, side view, 9 hr.; 11, the same as in 10, apical view; 12, late blastula stage, 10 hr. 10 min.; 13, gastrula stage, 12 hr. 10 min.; 14, appearance of embryonic shield, 13 hr.; 15, closing of blastopore, 14 hr. 10 min.; 16, appearance of optic vesicle and Kupffer's vesicle, 5-myotome stage, 15 hr. 40 min.; 17, appearance of melanophores, 10-myotome stage, 18 hr. 30 min.; 18, appearance of xanthophores, 16-myotome stage, 21 hr.; 19, beginning of heart beat and embryonal movement, formation of lens in optic vesicle, 24 hr. 30 min.; 20, just before hatching.

Table 12 Development of artificially fertilized egg.

Time after fertilization (hr.:min.)	Water temp. (°C)	Developmental stages	Fig. no.
50	21.2	2 cell stage	Fig. 28-2
1:20	21.6	4 "	" 3
1:40	21.6	8 "	" 4
2:00	21.6	16 "	" 5
2:20	21.6	32 "	" 6
2:40	21.6	64 "	" 7
3:00	21.8	Morula stage	" 8
8:10	21.9	Early blastula stage	" 9
9:00	21.6	Formation of germ ring	" 10, 11
10:10	21.4	Late blastula stage	" 12
12:10	21.1	Gastrula stage	" 13
13:00	21.0	Appearance of embryonic shield	" 14
14:10	21.1	Closing of blastopore	" 15
15:40	21.3	Appearance of optic vesicle and Kupffer's vesicle, 5-myotome stage	" 16
18:30	22.4	Appearance of melanophore, 10-myotome stage	" 17
21:00	22.7	Appearance of xanthophore, 16-myotome stage	" 18
24:30	23.0	Beginning of heart beat and embryonal movement. Formation of lens in optic vesicle	" 19
26:30	22.8	Just before hatching	" 20
29:10	22.3	Beginning of hatching	" 29-1

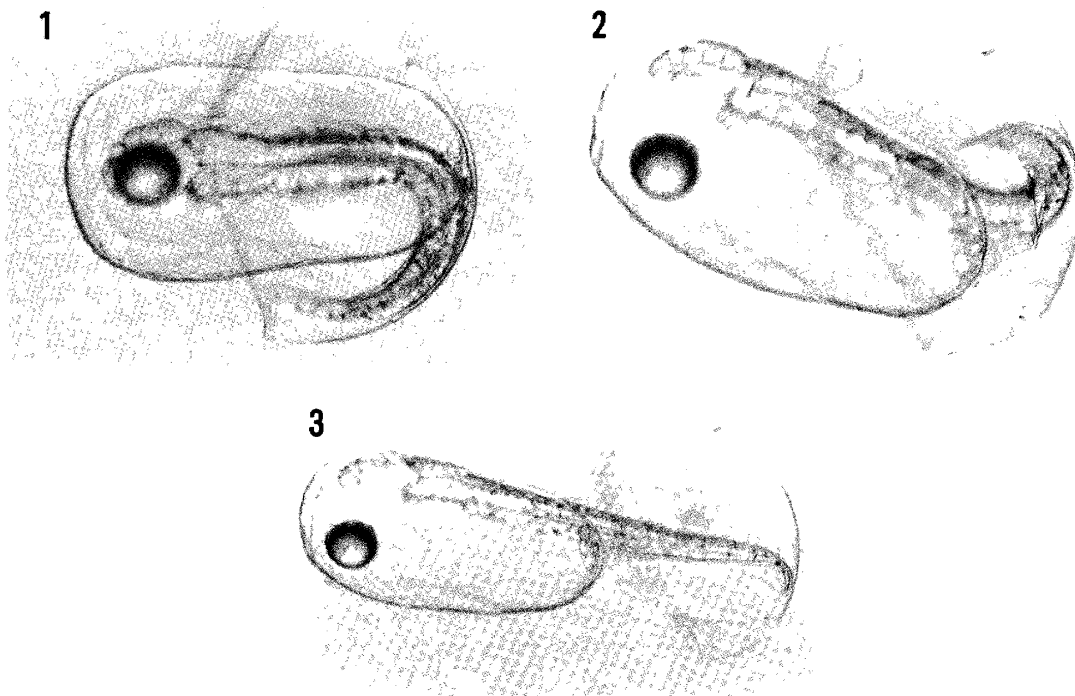


Fig. 29 Process of hatching.

卵巣内の完熟した透明卵は球形分離浮遊卵で、油球1個を有し、未受精卵の表面には動物極を中心にして大小の円形模様が観察される (Fig. 28-1)。受精卵の卵径は0.77~0.98mmで、卵発生過程は他の硬骨魚類とほぼ同様で、その観察は1975年5月23~24日に行った (Table 12)。この実験によれば、水温21.0~22.3℃の範囲で最初のふ化がみられたのは受精後29時間10分である。卵膜内では体を盛んに動かし、ふ出は頭を先にして卵膜を破って出てくる (Fig. 29-1, 2, 3)。

第2節 卵発生、ふ化と環境条件

1. 水 温

イシダイの卵発生、ふ化は水温と密接な関係がある。先に産卵と水温の関係を述べたが、ここでは卵の発生とふ化の適水温を求め、さらに水温と発生速度の関係を明らかにするための実験を行った。

卵発生段階別に種々の水温に収容した場合のふ化率：発生段階の異なる卵をそれぞれ一定の水温下におき、卵に及ぼす影響を調べ、発生とふ化の適水温範囲を求めた。1976年に飼育5才魚から水温24℃で自然産卵した受精卵を用いた。卵発生段階を4細胞期、桑実期、のう胚期及び眼胞出現期の4段階とし、実験水温を16~32℃まで1℃ごとに17段階の水温に保った100ml水中に、それぞれ30粒ずつを急激に収容し、ふ化率を調べた (Fig. 30)。この結果、すべての発生段階の卵

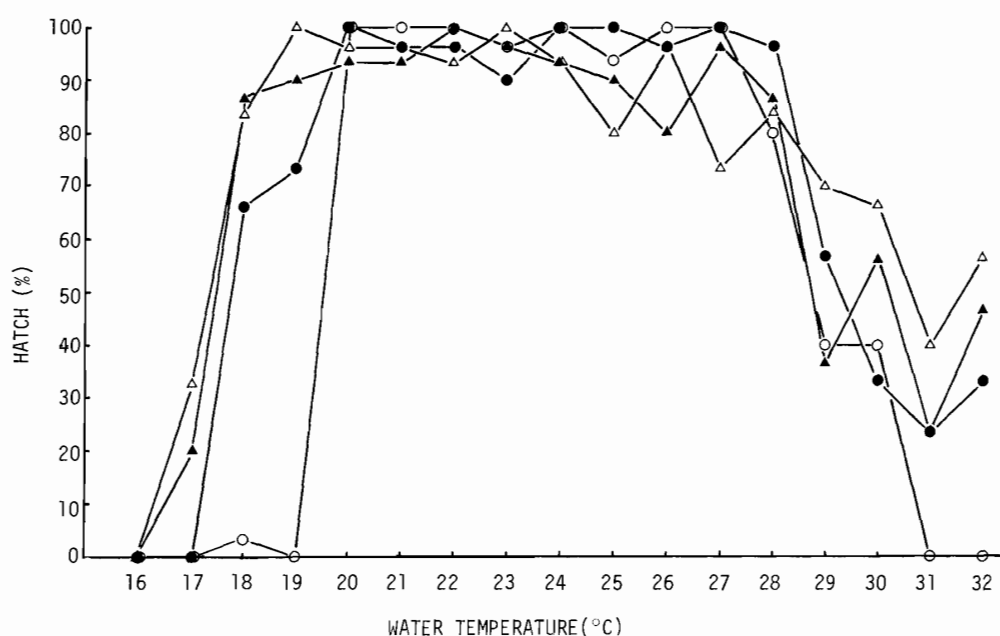


Fig. 30 Effect of water temperature on the hatching of eggs of different stages of embryonic development. Open circle, 4-cell stage; solid circle, morula stage; solid triangle, gastrula stage; open triangle, appearance of optic vesicle.

が80%以上のふ化率を示す水温範囲は20～26℃であり、特に20～24℃では90%以上のふ化率がみられる。20℃以下の低温側をみると、4細胞期では18℃の時1個のふ化がみられる他は16, 17, 19℃のいずれもふ化はみられない。桑実期では16, 17℃のいずれもふ化がみられないが18℃で67%, 19℃で77%のふ化がみられる。のう胚期及び眼胞出現期では16℃でふ化がみられないが、17℃でそれぞれ20%, 33%, 18℃で87%, 83%, 19℃で90%, 100%のふ化がみられる。このように発生段階の若い卵程、水温の影響を強く受け、ふ化率は低い。高温側では28℃まではすべての発生段階でほぼ80%以上の高いふ化率がみられるが、29℃以上になるとふ化率は低下し、しかも発生段階の若い卵程、水温の影響が大きく、ふ化率は低くなる。

次に以上のふ化率を正常ふ化率と奇形ふ化率とに分け、さらに卵のへい死率も併せ調べた (Table 13 ; Fig. 31)。この結果、正常ふ化のみられた水温範囲は4細胞期では20～30℃であり、その他の期では18～32℃である。このうち80%以上の高い正常ふ化率がみられるのは4細胞期では20～27℃、桑実期では20～28℃、のう胚期では19～28℃、眼胞出現期では19～26℃である。これから全期に共通して高いふ化率が得られる水温範囲は20～26℃で、特に90%以上のふ化率がみら

Table 13 Effect of water temperature on the hatching of eggs A, normal hatching; B, abnormal hatching; C, dead egg.

Water temp.(℃)	4 cell stage			Morula stage			Gastrula stage			Appearance of optic vesicles		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
16.0	0	0	30	0	0	30	0	0	30	0	0	30
17.0	0	0	30	0	0	30	0	6	24	0	10	20
18.0	0	1	29	17	3	10	24	2	4	23	2	5
19.0	0	0	30	22	1	7	25	2	3	25	5	0
20.0	27	3	0	28	2	0	27	1	2	26	3	1
21.0	29	1	0	27	2	1	27	1	2	25	4	1
22.0	28	2	0	29	0	1	28	2	0	25	3	2
23.0	29	0	1	27	0	3	27	2	1	27	3	0
24.0	28	2	0	29	1	0	28	0	2	28	0	2
25.0	28	0	2	30	0	0	26	1	3	24	4	2
26.0	30	0	0	29	0	1	22	2	6	21	8	1
27.0	30	0	0	30	0	0	27	2	1	21	1	8
28.0	20	4	6	29	0	1	24	2	4	18	7	5
29.0	5	7	18	7	10	13	7	4	19	10	11	9
30.0	6	6	18	3	7	20	11	6	13	9	11	10
31.0	0	0	30	1	6	23	1	6	23	1	11	18
32.0	0	0	30	1	9	20	2	12	16	3	14	13

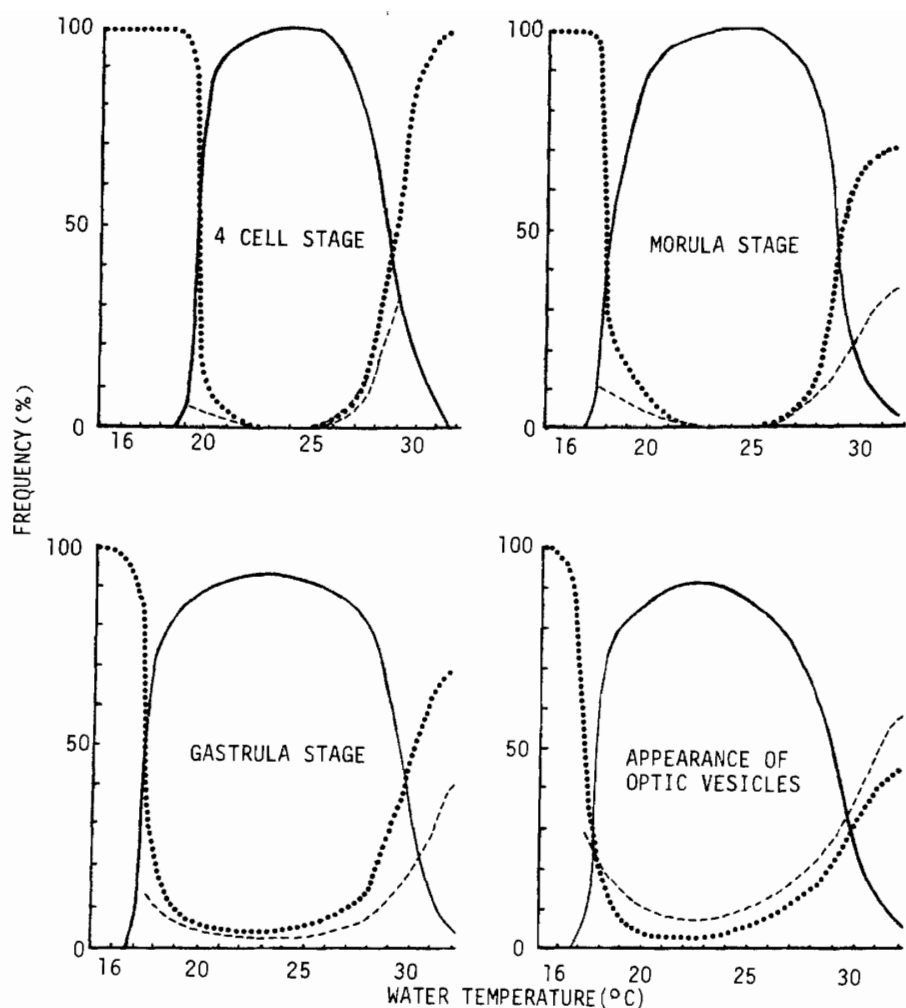


Fig. 31 Effect of water temperature on the hatching of eggs of different stages of embryonic development. Solid line, normal hatching; rent line, abnormal hatching; dotted line, dead eggs.

れるのは22～24℃である。また発生段階の若い卵程水温の影響を強く受け、へい死率が高く、その影響は低温側では19℃以下、高温側では29℃以上であり低温側に強く起こる。そのために生き残った卵は、尾部の弯曲した奇形仔魚としてふ化率が高く、したがって発生段階が進む程、低温側より高温側の奇形仔魚出現率が高くなる。

以上からイシダイの卵発生、ふ化の適水温は20～25℃で、特に23～24℃が最適温である。

水温と発生速度：イシダイ卵の水温とふ化速度の関係について実験を行った。1976年6月、飼育4才魚を親魚とし、水温23.4℃、海水比重22.61 (σ^{15})の条件下で自然産卵させ、受精率93%で4細胞期に達した卵を実験に用いた。実験水温19～29℃の範囲で、1℃ごとに11段階に保った300ml水中に卵を50粒ずつ收容して、ふ化開始から完了までの時間を記録し、さらにふ化率を算出した (Table 14; Fig. 32)。この結果、この実験水温範囲で、ふ化に要する最短時間は水温29℃で16時間10分、最長は19℃で53時間である。しかしふ化率は水温20～28℃の範囲では80%と高いが、19℃及び29℃では低くなる。

Table 14 Time required for hatching after fertilization under various water temperatures.

Water temp.(°C)	Time required for hatching			Hatch (%)
	range		(mean)	
	hr. min.	hr. min.	hr. min.	
19.0	48.45	— 53.00	(50.55)	5.0
20.0	37.20	— 44.20	(40.20)	88.0
21.0	33.40	— 36.00	(34.50)	100.0
22.0	31.45	— 34.45	(33.58)	86.6
23.0	28.35	— 32.20	(30.38)	95.0
24.0	23.50	— 27.05	(25.53)	100.0
25.0	22.15	— 26.00	(24.04)	100.0
26.0	19.50	— 23.20	(21.21)	100.0
27.0	18.40	— 22.10	(19.39)	95.0
28.0	17.40	— 20.50	(19.02)	96.7
29.0	16.10	— 20.00	(17.47)	60.1

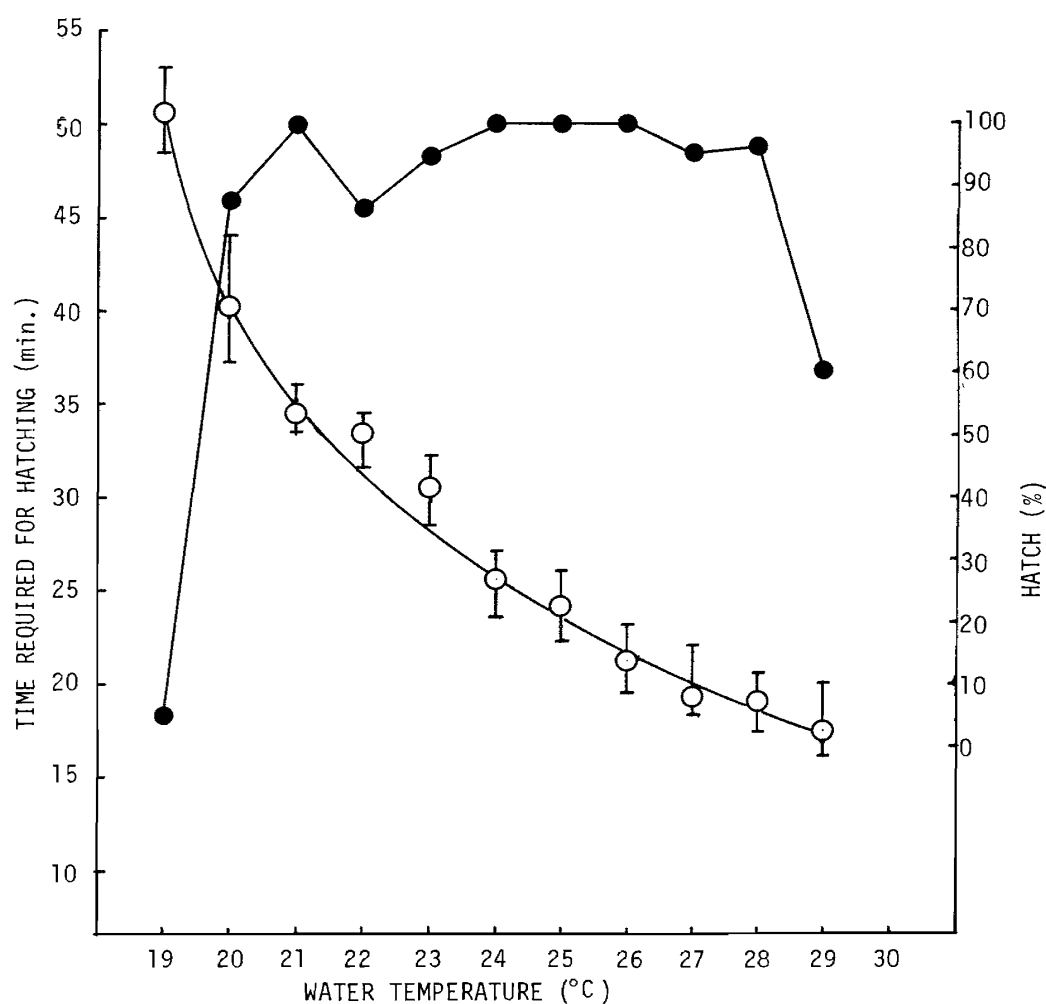


Fig. 32 Time required for hatching after fertilization under various water temperatures. Solid circle, water temperature; open circle, mean of time required for hatching.

魚卵のふ化日数と温度に関して、日暮・田内（1925）の実験式 $Te^{a\theta} = C$ （ T はふ化日数， θ は温度， e は自然対数の底， a は温度恒数， c は定数）があり，この実験結果をこれに当てはめ，ふ化に要する時間の対数を水温に対してプロットすれば直線的な関係が求められる（Fig. 33）。

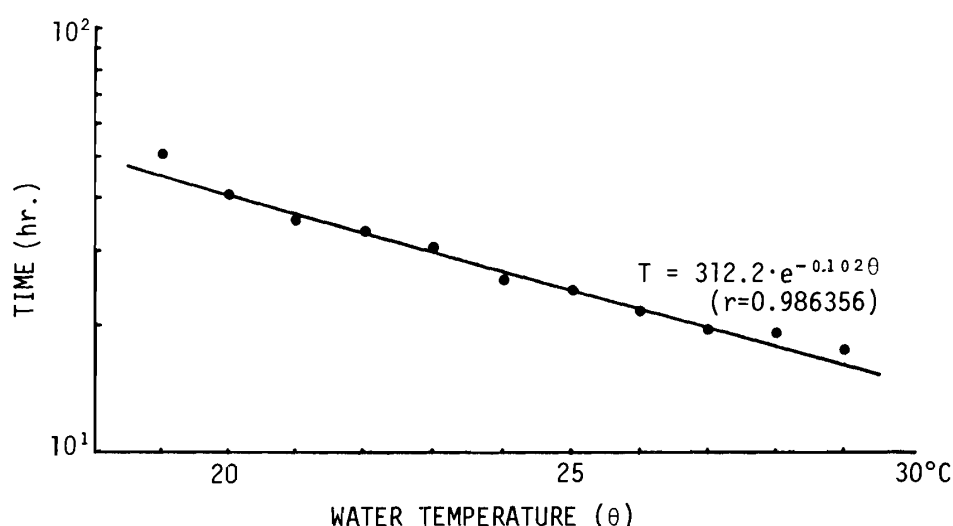


Fig. 33 Relation between water temperature and time required for hatching.

2. 海水比重

卵の浮上と海水比重：イシダイの産卵期が屢々梅雨期に当たり，低比重のため卵が完全に表層に浮上しないことがあり，湾内生簀養殖のイシダイの産卵ではその後の発生が正常でないことが多い。ここではイシダイ卵の浮上と海水比重の関係について実験を行った。海水に淡水を加え，15.00～25.00 (σ^{15}) の範囲で種々の濃度の実験海水をつくった。これの100mℓ中に正常に発生中のイシダイ卵のうち4細胞期，桑実期，のう胚期及び眼胞出現期の4段階の卵をそれぞれ30粒ずつ収容し，約15分間静置後，卵の浮遊状態を観察した。判定規準は表層浮上卵，中層浮遊卵及び沈下卵に大別し，それぞれの比率を求めた（Fig. 34）。この結果，卵の表層浮上が高い海水比重は，いずれの発生段階でも22.00 (σ^{15}) 台以上であり，浮上率がほぼ100%になるのは発生段階により差があり，4細胞期及び桑実期では22.00 (σ^{15}) 以上，のう胚期と眼胞出現期では23.00 (σ^{15}) 以上である。また卵が中層に浮遊するのはいずれの発生段階でも，20.00 (σ^{15}) 台以上であり，中層浮遊率は発生段階が進むと共に高率となり，特に眼胞出現期では22.00 (σ^{15}) で最高79%に達する。

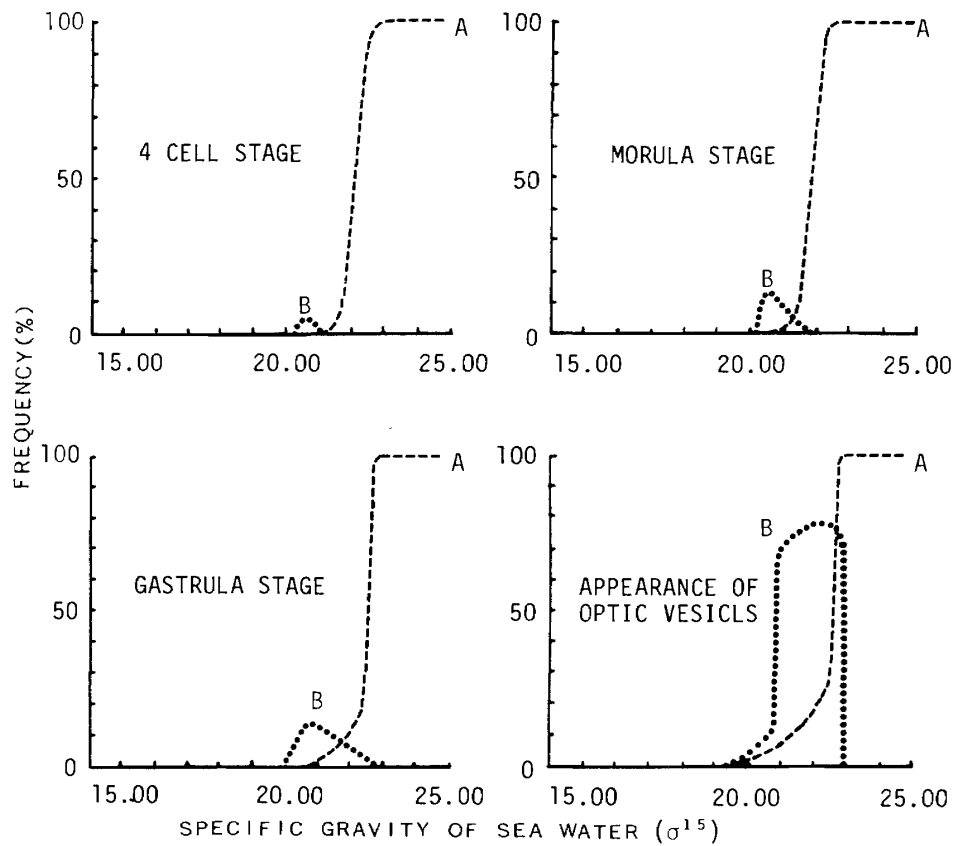


Fig. 34 Effect of specific gravity of sea water on the flotation of eggs of different stages of embryonic development. A, eggs floated on surface; B, eggs suspended in water and sunk to the bottom.

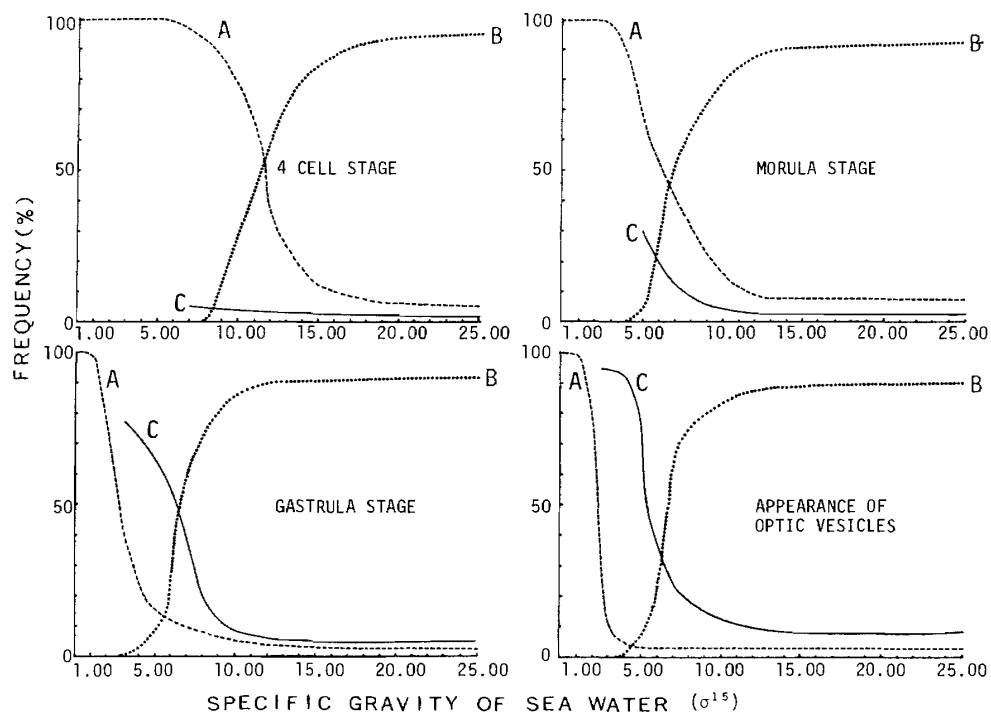


Fig. 35 Effect of specific gravity of sea water on the hatching of eggs of different stages of embryonic development. A, dead eggs; B, normal hatching; C, abnormal hatching.

以上から受精卵の表層浮遊には、比重22.00 (σ^{15}) 以上の海水が必要である。

ふ化と海水比重との関係：卵発生段階を4細胞期、桑実期、のう胚期及び眼胞出現期の4段階に分け、種々の濃度の実験海水を準備し、この中にそれぞれの発生段階の卵約50粒ずつを収容し、ふ化に及ぼす海水比重の影響を調べた。この結果からふ化について正常ふ化率、奇形(尾部弯曲)ふ化率及びへい死率を求めた (Fig. 35)。これによれば、発生段階の若い卵程低比重に対する抵抗力が小さく、卵のへい死率が極めて高いが、発生段階が進む程、低比重でも卵のへい死率は低い。これに代って発生段階が進む程、奇形仔魚の出現率が高くなる。

以上を総合して正常ふ化率が80%以上の海水比重は4細胞期で14.00 (σ^{15}) 以上、桑実期で10.00 (σ^{15}) 以上、のう胚期及び眼胞出現期で9.00 (σ^{15}) 以上である。しかし先に述べたように受精卵が大部分表層に浮遊する海水比重は22.00 (σ^{15}) 以上であることから種苗生産に当たっては、受精卵を22.00 (σ^{15}) 以上の海水で飼育するのが適当である。

第4章 成 長

第1節 環境条件と成長

1. 水 温

イシダイの成長と水温の関係について、先ず仔魚期と若魚期を選定して、種々の水温下における抵抗性について実験した。

仔魚期：人工ふ化直後の仔魚(全長0.20～0.25cm)を50尾ずつ1ℓビーカーに収容し、これを水温20～28℃の範囲で2℃ごとに5段階を設定した恒温槽において水温を一定に保ち、生存日数を調べた(Fig. 36)。

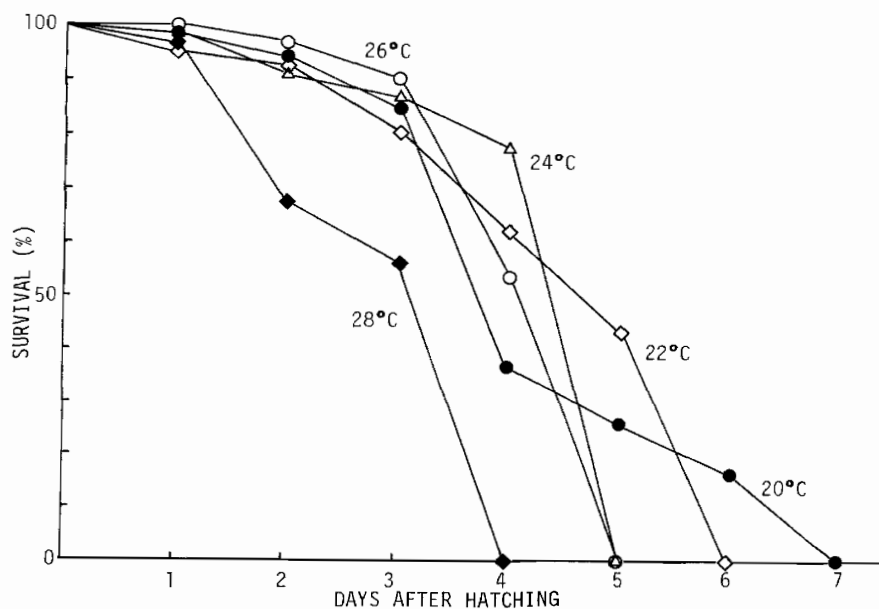


Fig. 36 Effect of temperature on the survival of newly hatched larvae, under starvation.

この結果、水温が高い程生存日数が短かく、最後の1尾がへい死する日数は28℃で4日、26℃で5日、20℃で7日である。へい死数が急増するのは28℃で2日目、その他では多少の変異はあるが4日目からである。20～26℃はイシダイの産卵水温であり、観察によればこの水温下ではふ化後約3日で卵黄を吸収しつくすので、水温の高い28℃区では卵黄を吸収し終る時期がさらに早まり、約2日である。

以上のことから水温20～26℃ではふ化後3日、28℃ではふ化後2日目からワムシを投餌する必要がある。

若魚期：i) 水温を徐々に低下させた場合、ii) 種々の低水温に保った場合、iii) 水温を徐々に上昇させた場合、iv) 種々の高水温に保った場合の4実験を行った。

先ず水温を徐々に低下させた場合、実験は飼育当才魚を用い、a、フォーク長11.9～16.2cmの5尾；b、フォーク長13.5, 13.8cmの2尾；c、フォーク長13.3, 13.7cmの2尾の3実験区を設定し、1976年12月15日に行った。飼育海水と同水温、同比重の海水20ℓ中に供試魚を収容し、エアレーションにより用水の攪拌を行いつつ、ナイロン袋に入れた氷で水温を徐々に下降させ、供試魚の遊泳行動を観察し、仮死に至るまでの所要時間を測定した (Fig. 37)。なお水温の下降勾配はaを大きく、b、cは小さくした。その結果、魚の行動に変化がみられるのはaが早く7℃であり、b、cはそれよりやや低く6.3～6.5℃である。仮死状態に至る水温はその下降勾配（水温低下速度）によって異なり、低下速度が早いaの場合、1分間に0.075℃の下降で5.6℃に至ると仮死状態となり、最も遅いcの場合、1分間に0.033℃の下降で3.4℃に至ると仮死状態になった。この理由として低下速度が緩慢な場合、馴致によりへい死が遅延することが考えられる。

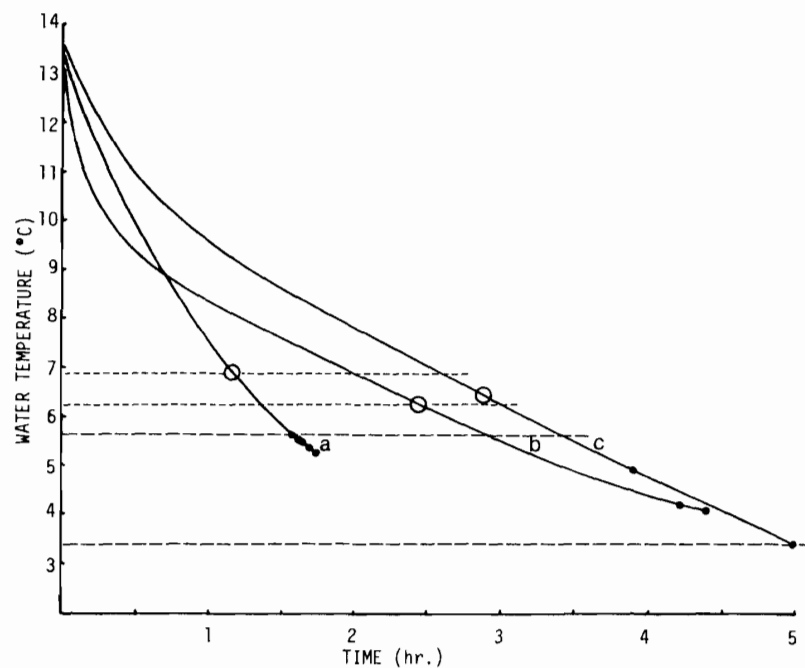


Fig. 37 Effect of lowering temperature on the survival of young. Open circle, swimming becoming abnormal; small solid circle, moribund.

次に種々の低水温に保った場合、飼育当才魚(フォーク長10.3～14.5cm)を各区2尾ずつ用い、目標水温を4, 5, 6, 7及び8℃に設定し、飼育水温の13℃から徐々に低下させ、約1時間でそれぞれの目標水温に到達させた後、一定水温に保ち供試魚の遊泳状態を観察し、仮死に至るまでの所要時間を記録した (Fig. 38)。その結果、7, 8℃区ではそれぞれ80時間及び72時間40分の長時間観察したが異常は認められない。4, 5, 6℃区では7℃までの下降過程で全く異常が認められないが、7.0～6.5℃でいずれの場合も体の地色が褪色白化し、横縞が黒く明瞭となり、

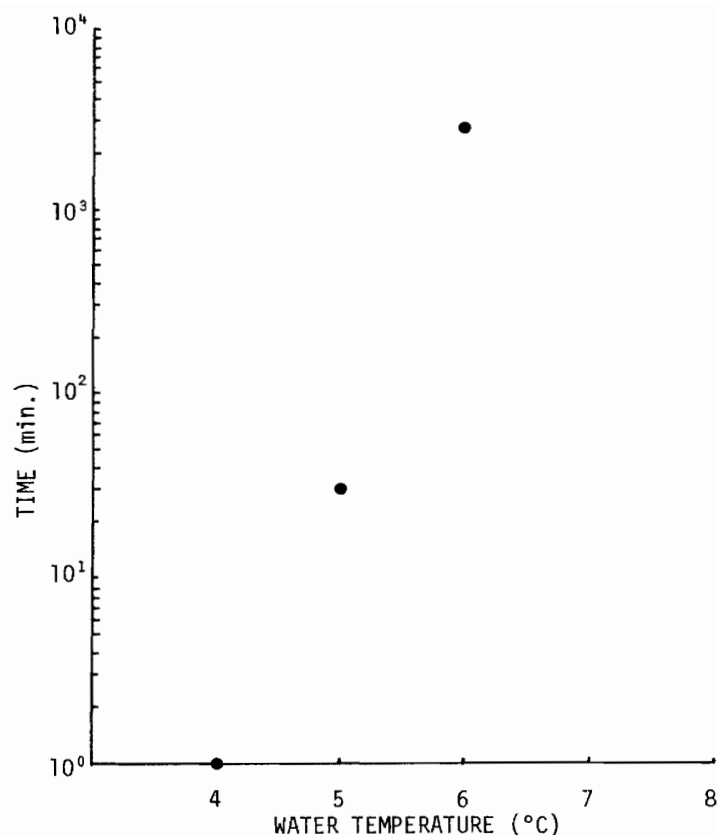


Fig. 38 Survival time of young after transfer to constant low temperatures from 13°C.

次いで平衡を失い異常遊泳を行うようになる。6℃区では6℃に到達後、6時間で眼球白濁が認められ、36時間後には狂奔し、1尾は42時間後に、1尾はその10時間後に仮死状態となる。5℃区では5℃に到達すると胸鰭を張り、腹筋を痙攣させながら泳ぎ、僅か25～35分後に器底に横向きに静止し、仮死状態となる。4℃区では水温下降途中の5℃において著しい異常を示し、4℃に至ると直ちに1尾が、2分後に1尾が仮死状態になる。

以上2つの実験から、イシダイ若魚の低水温域での生存に必要な水温は7℃以上であることが明らかとなった。

次に水温を徐々に上昇させた場合、実験は1976年9月24～28日の間に水温上昇速度を変えた3実験を行った。30ℓパンライト水槽に飼育当才魚(フォーク長9.8～9.9cm)各1尾を収容し、エアレーションしながら石英管ヒーターで加温し、供試魚の遊泳状態を観察し仮死状態に至る時間を記録した (Fig. 39)。この結果、3実験区共、水温35.4～36.3℃に上昇した時異常遊泳が認められ、36.6～36.8℃でいずれも仮死状態になる。この場合、水温上昇速度に差異があったにも拘わらず仮死に至る水温はほとんど一定である点が極めて特徴的である。

このことからイシダイは高温には馴致し難いのではないかとと思われる。

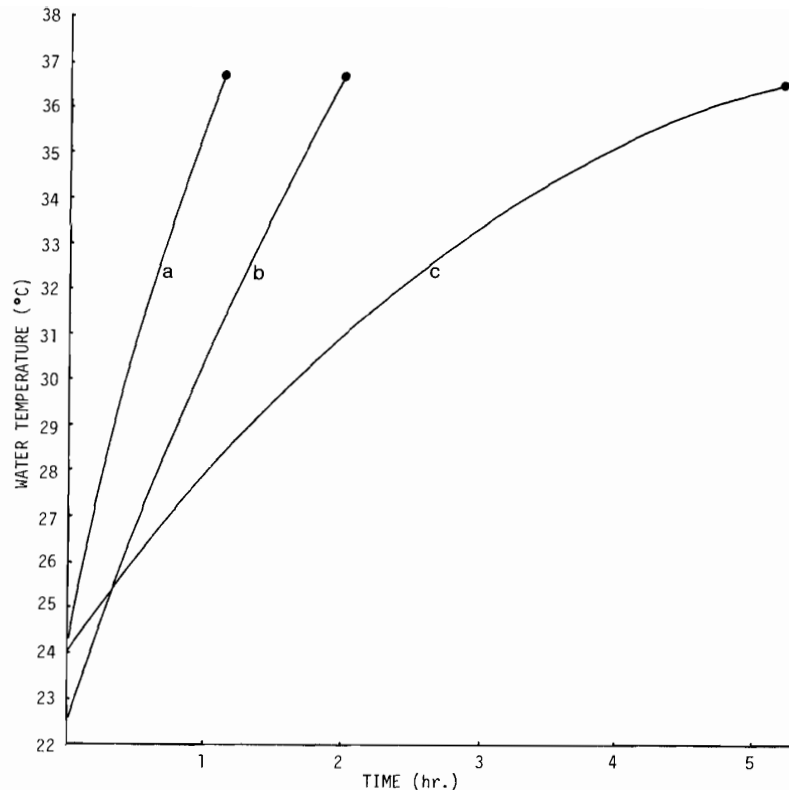


Fig. 39 Effect of elevating temperature on the survival of young.

また種々の高水温に保った場合、実験は1976年10月に行い、目標水温を32, 33, 34, 35及び36°Cの5段階に設定した。30ℓパンライト水槽に飼育当才魚(フォーク長10.4~11.4cm)各2尾を収容して飼育水温の24°Cから約1~1時間30分でそれぞれの目標水温に到達させ、供試魚の状態を観察しながら仮死に至る時間を測定した(Fig. 40)。

その結果、32, 33°C区は24時間経過しても異常は認められないが、34°C区で60~77分後、35°C区で7~22分後、36°C区で2~4分後にそれぞれ仮死状態になる。以上の結果、イシダイ若魚の高水温域での生存に安全な水温は33°Cまでである。但し、冬季の低水温で飼育中のものの高温での限界水温はこれより低いことが予想される。

以上行った低水温域及び高水温域の実験結果から、イシダイ若魚の棲息安全水温は7.0~33.0°Cの範囲にある。

次に無給餌条件下における若魚の生存日数を知る目的で次の実験を行った。飼育当才魚(フォーク長6.1~15.0cm)各6尾を22, 25及び28°Cに水温調節した0.5トンパンライト水槽に収容し、流水式でエアレーションを行いながら飼育した。実験に当たっては開始前1週間、充分給餌した後無給餌とし、へい死するまでの行動観察と共に生存日数を記録した。

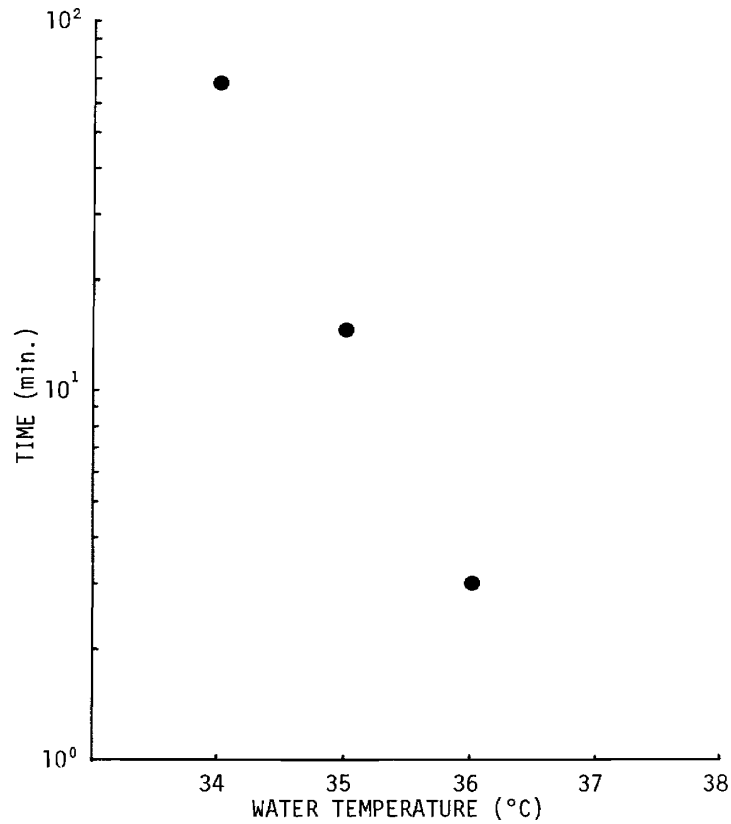


Fig. 40 Survival time of young after transfer to constant high temperatures from 24°C.

この結果、期間中の水温変化は流水式のため多少の変動がみられたが、ほぼ設定水温通り経過した。実験中のインダイの行動の概要は先ず体を傾斜させ浮上したのち静止する異常行動がみら

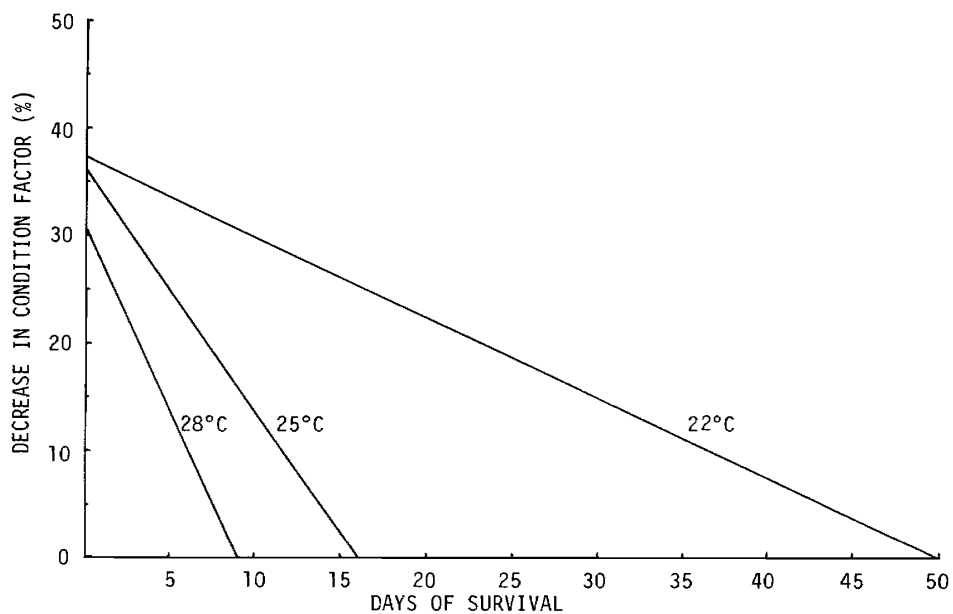


Fig. 41 Effect of temperature on the survival of young under starvation.

れ、腹部の痩せが目立ち、遊泳が緩慢となる。その後表層を仰向または時々狂奔し、体色が黒化し、へい死が始まる。各実験区の生存日数は28℃区で8～11日平均9.2日、25℃区で14～17日平均15.7日及び22℃区で48～51日平均50.2日で、水温が高い程生存日数が短い。また肥満度の減少率は水温が高い程小さく、水温が低い程大きい傾向がある (Fig. 41)。

2. 海水比重

種々の海水比重条件下における抵抗性を、仔魚期、若魚期について実験した。

仔魚期：ふ化直後の仔魚(全長0.20～0.25cm)各50尾を5段階の比重海水中に收容し、恒温槽で水温を26℃に保ち、生存日数を調べた (Fig. 42)。

その結果、比重5.63(σ^{15})区では1日後に全滅し、以下比重の低い順に経時的に減耗し、普通海水の25.05(σ^{15})区ではふ化後3日まで生存率100%で、4日目から減耗が目立ち始め、6日目に全滅した。ふ化後3日以内の卵黄吸収終了前の減耗は比重の影響とみて差支えないが、ふ化後4日以降の減耗はむしろ飢餓による影響と見做す方が妥当であろう。

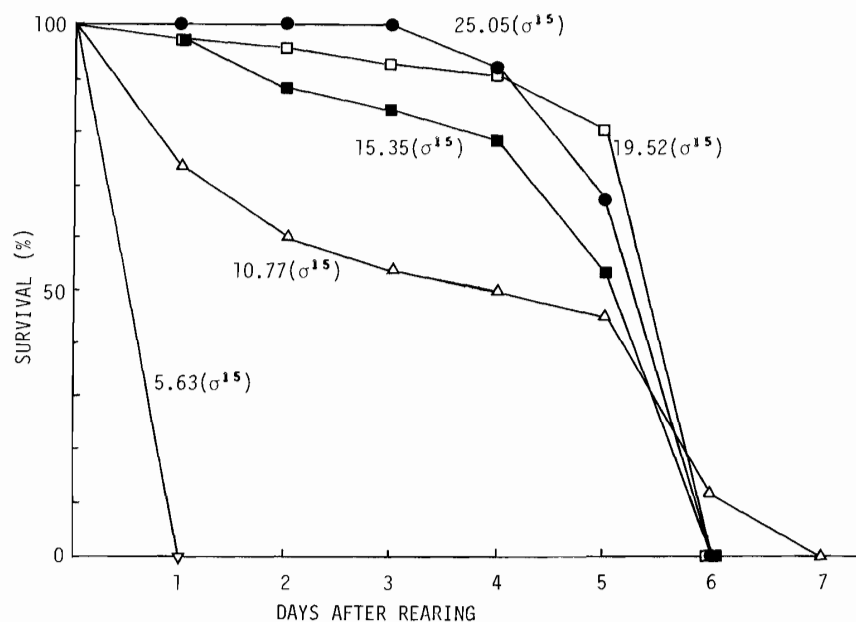


Fig. 42 Effect of specific gravity of sea water on the survival of newly hatched larvae under starvation.

以上の実験からイシダイふ化仔魚の生き残りに必要な海水比重はおよそ15.00(σ^{15})以上である。

若魚期：1968年2月に、淡水、0.50, 2.00, 2.50, 3.00, 4.00及び5.00(σ^{15})の7段階に比重調整した海水中へ飼育当才魚(フォーク長10.5～12.5cm)を各区2尾ずつ收容し、その行動を観察し仮死に至るまでの時間を測定した (Fig. 43)。

その結果、淡水中では2分後に器底に横転し、各鰭軟条の先端が白化するなど異常が認められ、

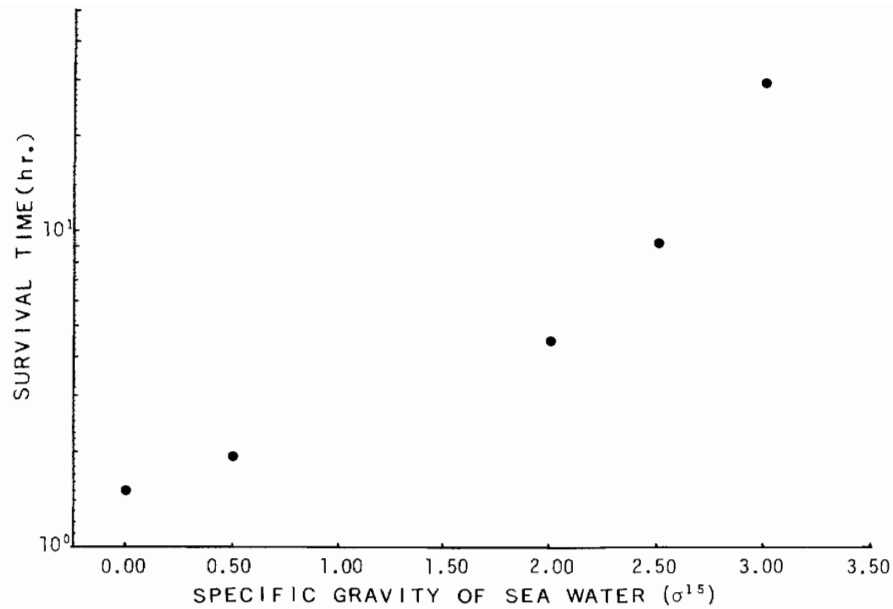


Fig. 43 Survival time of young after transfer to fresh-water and diluted sea water from 25.05(σ^{15}).

1時間10分～1時間50分後にそれぞれ仮死状態になる。比重が高くなるに伴いその影響は少なく、仮死に至る時間も延長し、2.00(σ^{15})では4～5時間、3.00(σ^{15})では29～30時間である。4.00(σ^{15})では2尾共、異常を示しながらも80時間経過後も仮死に至らず、普通海水に戻すと、5～6時間後には正常に回復する。5.00(σ^{15})では80時間後も全く異常が認められない。

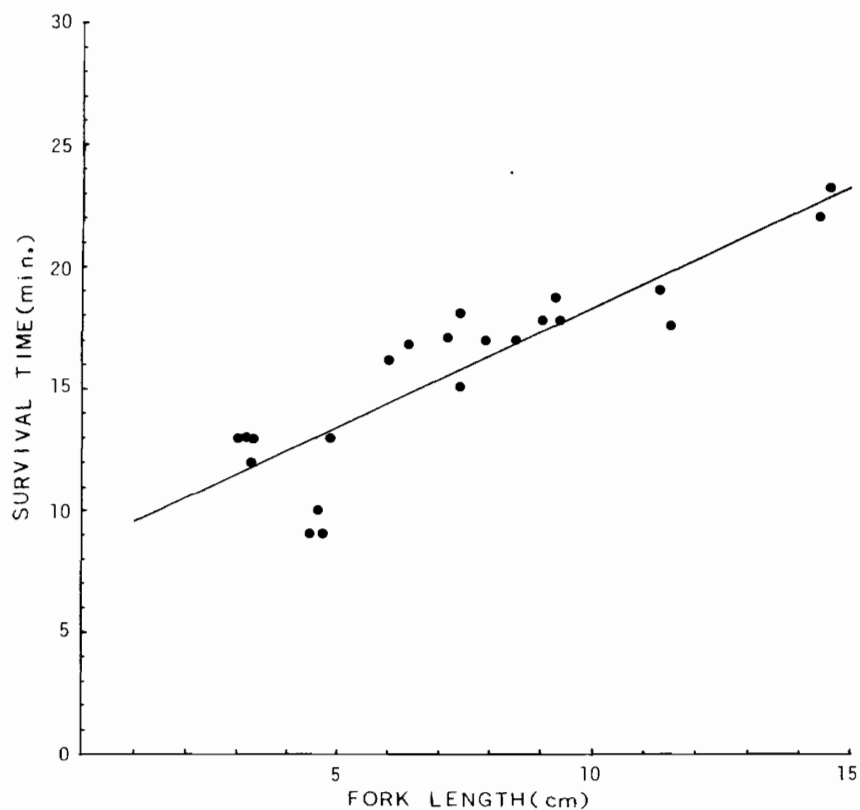


Fig. 44 Survival time after transfer to freshwater for juveniles and young fish.

以上からイシダイ若魚の生残に必要な海水比重は5.00(σ^{15})以上である。

また稚魚、若魚期以降において、外部寄生虫(*Benedenia* sp. 他)駆除法として淡水浴が効果的であり、その際の淡水に対する抵抗性を知る目的で、成長段階の異なる魚体を対象に実験を行った。1976年8～9月にかけて、24℃に調整した淡水中にフォーク長3.0～14.6cmの稚魚及び若魚を収容し、エアレーションを行いつつ、その行動を観察し仮死に至るまでの時間を測定した(Fig. 44)。

その結果、24℃淡水中におけるイシダイ稚魚及び若魚の平均生存時間はフォーク長3.0cmで11.5分であり、体長の増大に伴い直線的に延長し、15.0cmで23分である。この実験で生存期間が最も短い個体でも9分であり、*Benedenia* sp. の駆除のための淡水浴時間は4～5分であるので、この大きさの稚魚及び若魚はそれに充分耐えることができる。

3. 溶存酸素

若魚期の溶存酸素量に対する抵抗性を明らかにする実験を行った。飼育当才魚(フォーク長9.7～10.8cm)を用い、水槽中で窒息するまでの時間及び溶存酸素量の変化を経時的に測定した。実験は1976年9月に2尾ずつ3グループについて行い、直径28.9cm、深さ19.0cmの円形ガラス水槽に10ℓの海水を満たし、仮死状態に至るまでの行動を観察した(Fig. 45)。なお溶存酸素量の測定はWinkler法によった。その結果、溶存酸素量が次第に減少し、1.0ml/ℓ以下に低下すると魚体は褪色白化し、0.75～0.80ml/ℓに低下すると体を傾斜し、続いて横転または仰向の後、器底に静止し、やがて体を痙れんさせ時々激しく泳ぎまわり、遂には窒息へい死に至る。この時の溶存酸素量は0.45～0.65ml/ℓである。以上からイシダイの飼育に当たっては、およそ1.0ml/ℓ以上の溶存酸素量があれば安全である。

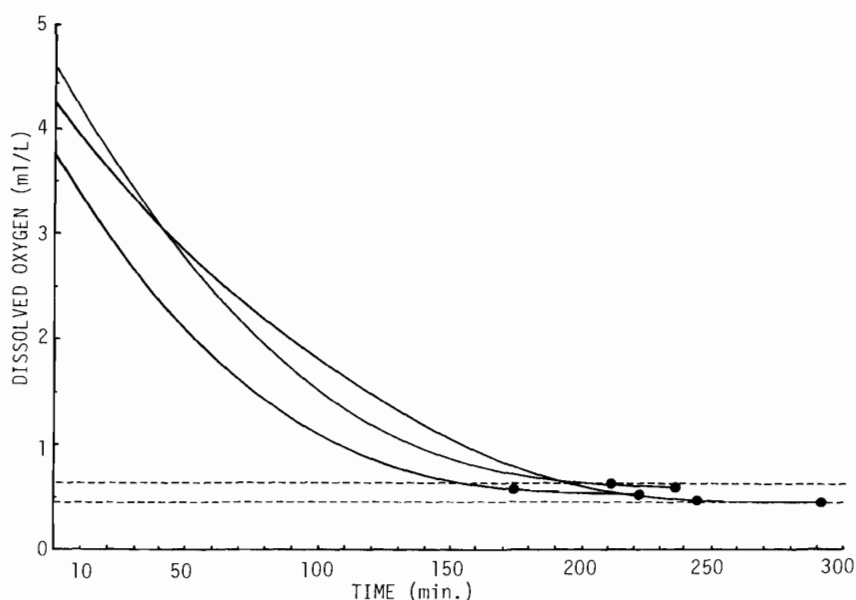


Fig. 45 Changes in dissolved oxygen contents until young are suffocated to death in closed glass containers. Solid circle, point of suffocation.

4. 水温と成長

水温は魚の代謝速度を変え、その成長に大きく関与するのでイシダイの種苗生産や養殖適地の選定のためには重要な要素である。

ここでは先ずイシダイのふ化仔魚を用い、2つの異なる水温条件下で成長比較を行った (Fig. 46)。実験は1968年5月29日にふ化し、6月27日まで水温21.7~23.6℃、平均22.6℃で飼育したAグループと、同年6月27日にふ化し、7月26日まで水温23.1~26.0℃、平均24.4℃で飼育したBグループについて行った。各々約13,000尾を0.5トンパンライト水槽に収容し、飼育水温に差を設けた以外は条件を同一にして飼育管理した。

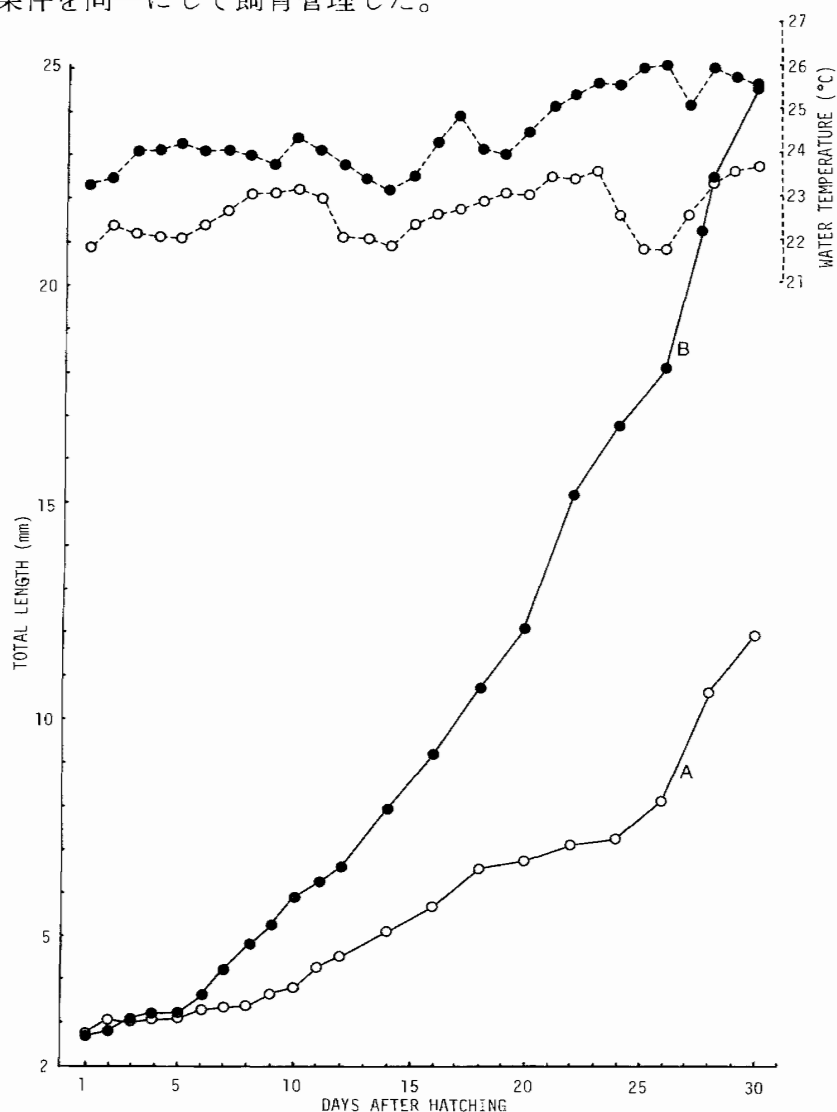


Fig. 46 Growth of larvae at different water temperatures. A, hatched on May 29, water temperature: 21.7-23.6°C; B, hatched on June 27, water temperature: 23.1-26.0°C.

その結果、成長はふ化後5日頃までは両者ほとんど同じであったが、Bグループはその後順調に成長した。Aグループはふ化後10日頃まで極めて緩慢な成長を示し、その後やや好転したがB

グループに比べ不良で、ふ化後25日前後の水温下降時には成長が停滞する傾向をみせた。ふ化後30日で、水温が高く経験的にイシダイの飼育適水温と思われるBグループは平均全長24.5mmに成長した。これに対し水温の低いAグループは平均11.9mmの成長にとどまった。なおBグループはAグループより飼育水温が平均で約2℃高く、そのため全長で約2倍の成長を示した。

次にふ化後4ヶ月以上経過した若魚を用い、水温と成長の関係、特にここでは水温の低下に伴い、どの時点で摂餌不良となり、成長に影響を及ぼすかを明らかにするための実験を行った。

飼育当才魚(平均フォーク長9.3cm, 平均体重22.6g)50尾を用い、北洋魚粉を主原料とする配合餌料を給餌した。飼育は0.5トンパンライト水槽で流水式とし、エアレーションを行った。実験期間は1976年10月2日より1977年1月29日までの120日間とし、15日ごとに体重、フォーク長の測定を行いⅠ～Ⅷ期に分けて資料を纏めた。餌料には等量の水道水を加え練餌とし、給餌は充分食べら

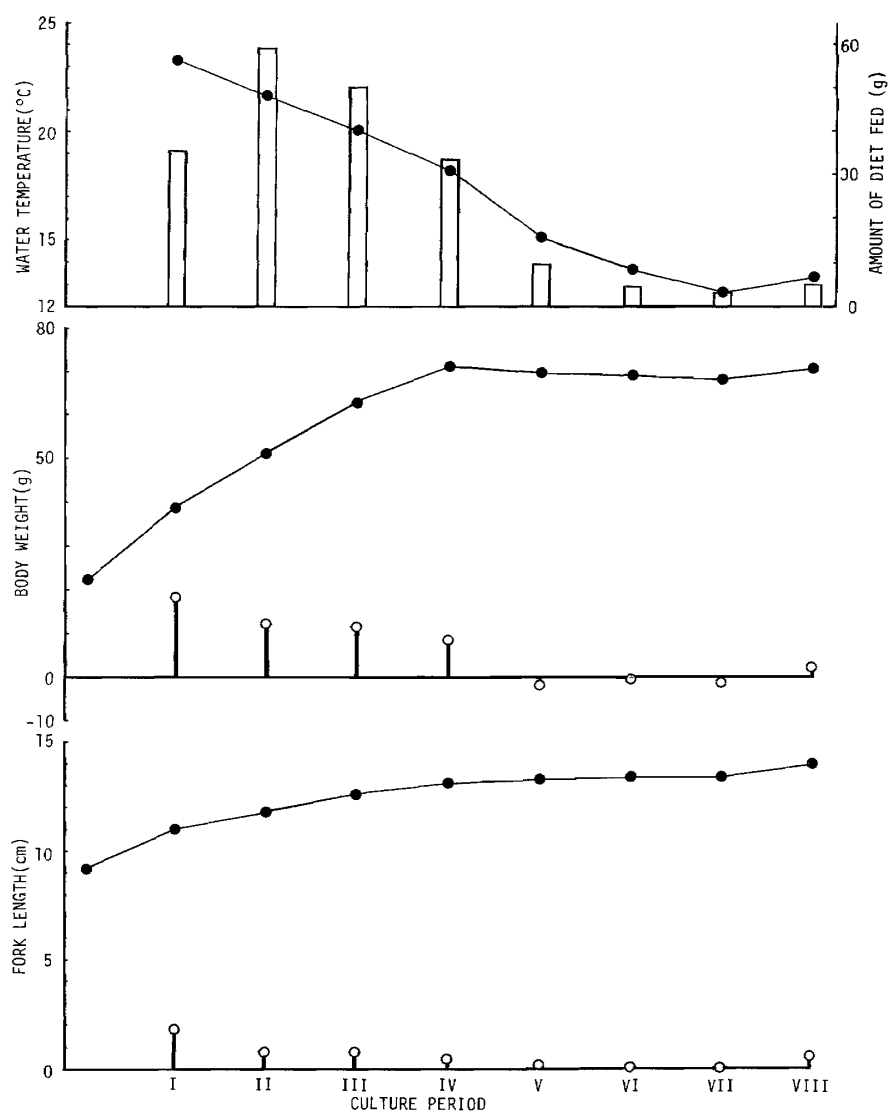


Fig. 47 Periodical change of amount of diet fed, body weight and fork length, especially in relation to water temperature. Open column, amount of diet fed; open circle, growth of one culture period of 15 days.

れる時は1日2回与え、水温15℃以下では食べ残しのないよう注意しながら1日1回与えた。また10時における水温、海水比重及び溶存酸素量を測定した。その結果、水温はⅠ期(10月2日～10月16日)が最も高く、その後漸次低下し、Ⅶ期(12月31日～翌年1月14日)が最低となりⅧ期はやや上昇した。海水比重は全期を通じ23.10～26.00(σ^{15})で、溶存酸素量は3.1～5.5ml/lであり、この値から摂餌活動には影響なかったものとする。この実験から、体重とフォーク長の成長について、第Ⅰ～Ⅶ期までの推移と各期ごとの成長量及び飼育水温を記録した(Fig. 47)。これによると水温18℃以上のⅥ期までは順調に成長するが、Ⅴ期の水温15℃以下に低下すると体重は減少し、フォーク長は停滞する。また摂餌活動の強さは水温20℃以上の第Ⅰ～Ⅲ期に大きく、練餌の塊を食いちぎるように活発に摂餌する。第Ⅳ期はやや不活発となり、短時間に飽食に達する。水温15℃以下に低下する第Ⅴ期以降は投餌後約5分間は表層で活発に摂餌するが、その後はほとんど中層にとどまり不活発である。このように水温の低下に伴い摂餌活動も低下する。したがって摂餌量も水温18℃以上の第Ⅳ期までは多いが、15℃以下のⅤ期以降は極めて少ない。また増肉量も摂餌量と同様、水温の低下に伴い減少する。すなわち水温18℃以上のⅣ期までは増肉がみられるが、Ⅴ期水温15℃に至って体重の減少がみられる。

以上の実験をもとにイシダイ養殖における水温と日間給餌率、水温と日間増肉率の関係について取り纏めた(Fig. 48)。これから日間給餌率は22℃で約11%、18℃で約4%、15℃以下では1%

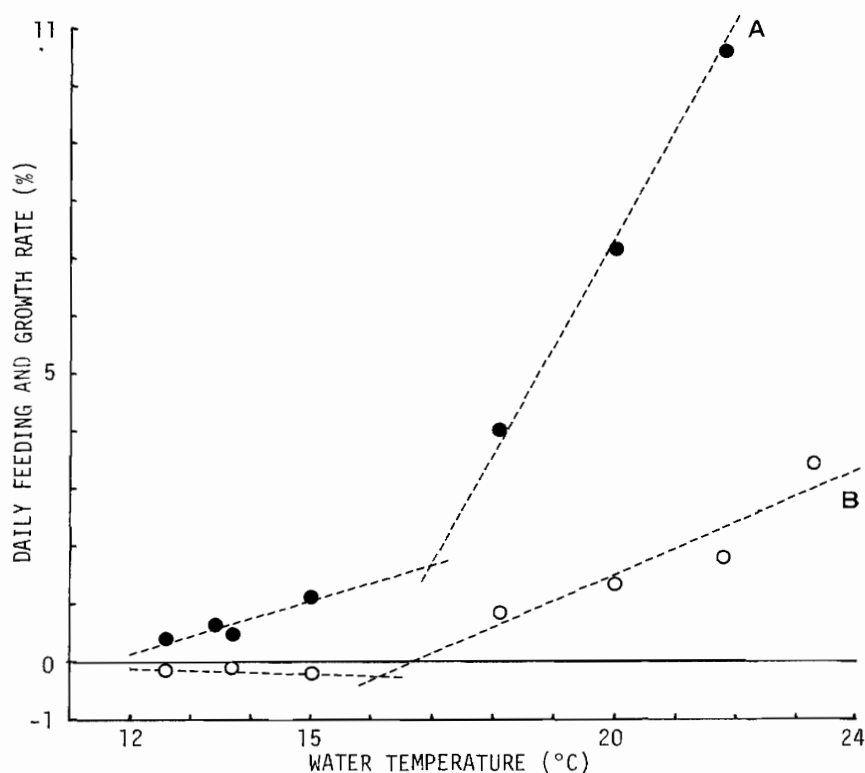


Fig. 48 Relation between water temperature and daily feeding(A) and growth(B) rates.

以下となる。また日間増肉率は24℃で約3.5%，20℃で1.5%，18℃で約0.5%と水温の低下と共に低下し，この延長線が横軸(0%)と交わる点すなわち，およそ16.5℃以下では増肉はみられない。したがってイシダイでは摂餌はするが成長が停滞，または体重の減少の起こる水温限界は16～17℃の間にあり，比較的活発に摂餌し，増重する水温は18℃以上である。

第2節 餌料と成長

1. 仔稚魚期の成長

ふ化仔魚の初期餌料は仔魚が容易に摂餌し，消化されて，栄養価が高く，しかも大量に適時供給できることである。筆者が最初にイシダイの人工ふ化，飼育を行ったのは1967年であり，当時仔魚用餌料はまだスクリーニングの時代であった。筆者は先ずマガキ *Crassostrea gigas* (THUNBERG) の受精卵を用い，続いてウニ類，フジツボ類の受精卵を用い検討してきたが，いずれも大量確保が難かしいために次の段階として大量培養のできるワムシが適当であるという結論に達した。ワムシ培養の餌生物として当初クロレラ *Chlorella* sp. を用いたが，クロレラ培養のためにはワムシ槽の約4倍の容積を必要とし，更に単位容積当たりの増殖数が少ないためパン酵母でおきかえる方法が開発された。しかし1975年頃からこのパン酵母で培養したワムシに ω 3高度不飽和脂肪酸が不足していることが指適され，この改善策として油脂酵母によるワムシの培養が研究開発されたので筆者もこれにならって油脂酵母により生産したワムシを用いるようになった。その次の段階の餌料として，天然カイアシ類の採集できる場所では主としてこれを用いるが，これが困難な場合はブラインシュリンプ *Artemia salina* LEACH またはワムシ培養時の副産物であるチグリオパス *Tigriopus japonicus* MORI を用いるがチグリオパスは現在のところ充分な生産はできていない。

摂餌量の日周期：先ずワムシを用いて仔魚の摂餌生態，特に摂餌の日周期活動を明らかにするための実験を行った。

実験にはふ化後6，10，18日の仔魚を用い，飼育は0.5トンパンライト水槽に供試魚約8,000尾を収容し，8，16時の1日2回ワムシを充分給餌した。供試魚は各2～8尾を1時間ごとに24回採取し，0.5%ウレタンで麻酔後全長測定を行い，消化管内のワムシを計数した(Fig. 49)。実験の結果摂餌の周期性をみると，仔魚のA，B，Cの3区はいずれも夜明け5～6時に摂餌を開始し，日中も摂餌を続けながら夕方19～20時に停止し，20～21時以降の夜間は全く摂餌しない。また1時間ごとに仔魚の消化管内のワムシ数を計数すると，ふ化後6日仔魚(全長3.13～3.55mm)で0～28個平均8.7個，ふ化後10日仔魚(全長3.39～4.08mm)で0～49個平均14.6個，ふ化後18日仔魚(全長5.17～6.34mm)で0～210個平均75.1個である。

次にチグリオパスを用いて稚魚の日周活動について同様の実験を行った。実験にはふ化後25, 29日の稚魚を用い、飼育は0.5トンパンライト水槽に供試魚約5,000尾を収容し、8, 16時の1日2回チグリオパスを補給した。1時間ごとに24回供試魚を各3尾採取し、0.5%ウレタンで麻酔後全長測定を行い、消化管内のチグリオパスを計数した(Fig. 50)。実験の結果、摂餌の日周性をみると稚魚のA, B両区共、消化管内にチグリオパスの多い山が3回みられる。日の出時の5～6時に活発に摂餌を始め、約6時間後には消化管内のチグリオパス数は第1回目のピークに達する。その後は減少して17時頃から再び増加し、19時頃には第2回目のピークに達する。同様に第3回目のピークは夜間23時頃にみられる。またA, B両区共多少の差はみられるが、日の出前5

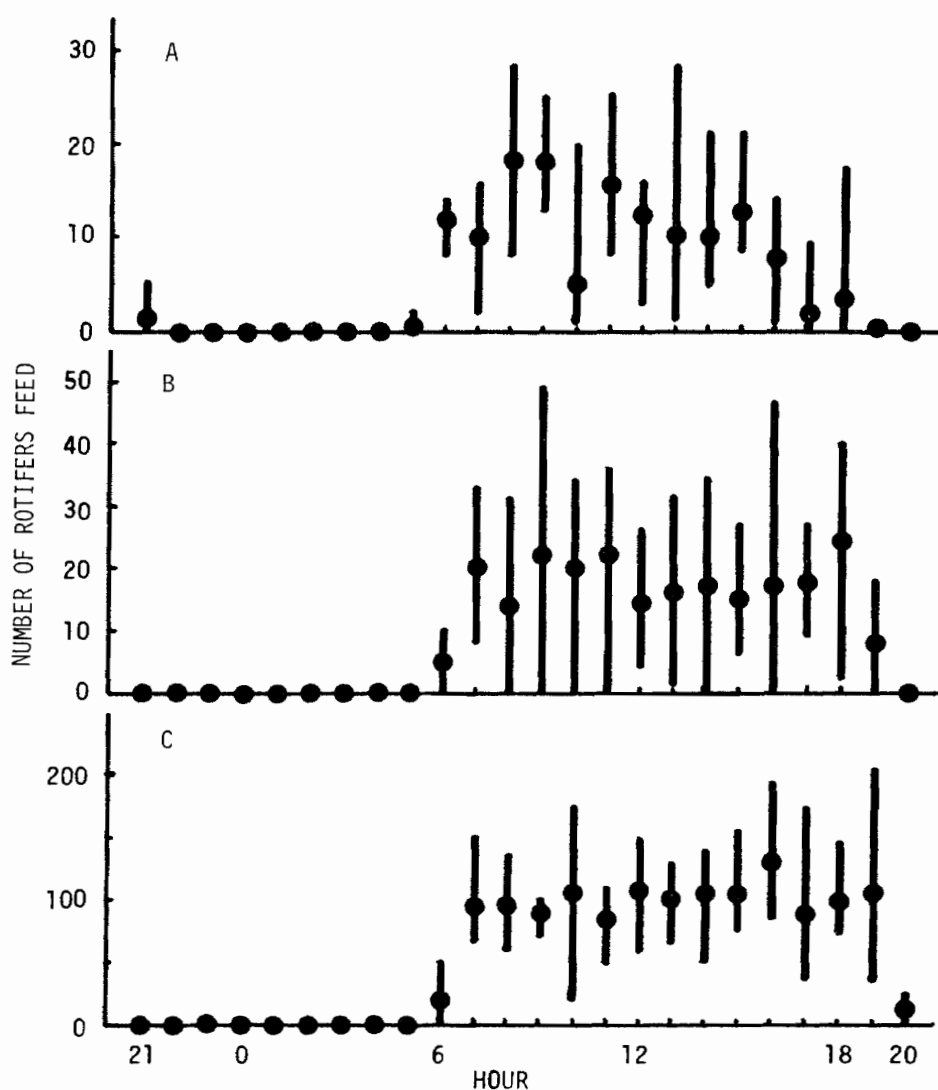


Fig. 49 Hourly changes of the mean number of rotifers fed by individual larva. A, 6-day after hatching: total length 3.13-3.55 mm, water temperature 25.8-26.4°C; B, 10-day after hatching: total length 3.39-4.08 mm, water temperature 25.8-26.5°C; C, 18-day after hatching: total length 5.17-6.34 mm, water temperature 26.1-26.7°C. All the rotifers found in the digestive tract were counted.

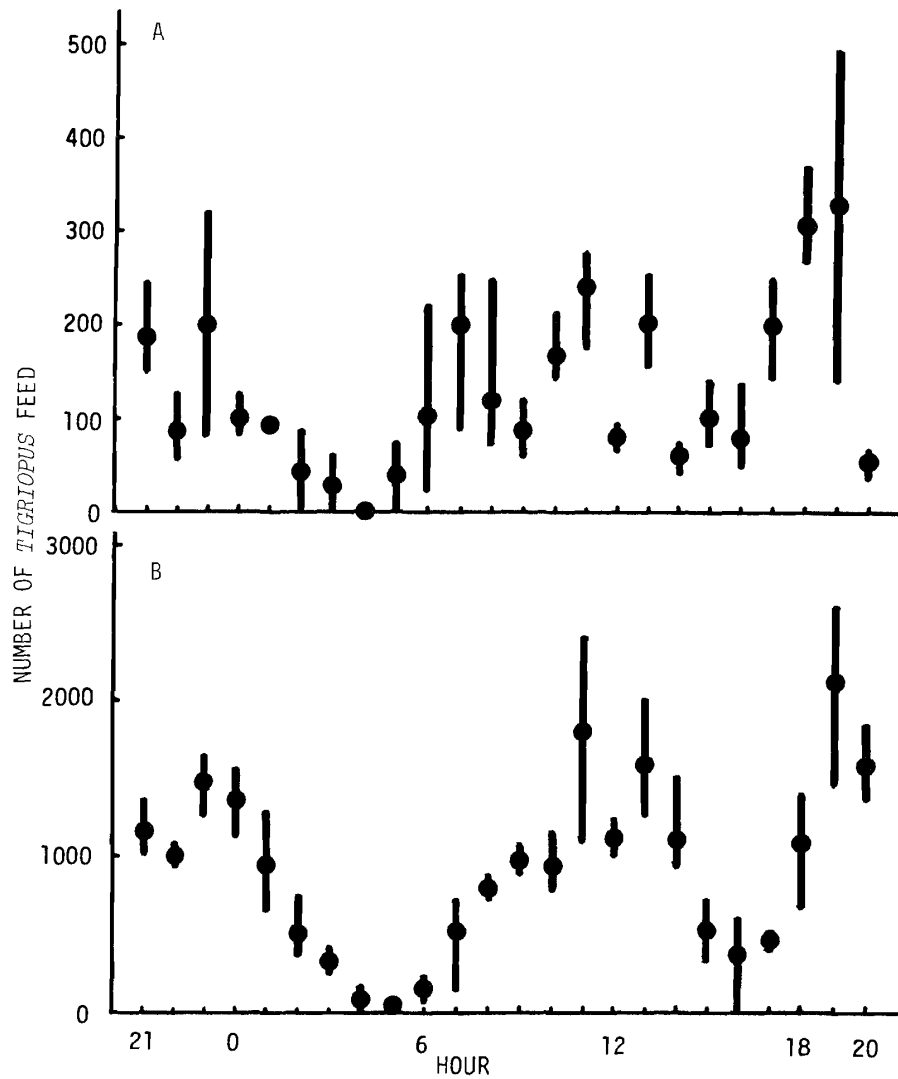


Fig. 50 Hourly changes of the mean number of *Tigriopus* fed by individual larva. A, 25-day after hatching; total length 12.04-14.42 mm, water temperature 26.0-26.8°C; B, 29-day after hatching: total length 20.5-23.75 mm, water temperature 26.3-27.1°C. All the *Tigriopus* found in the digestive tract were counted.

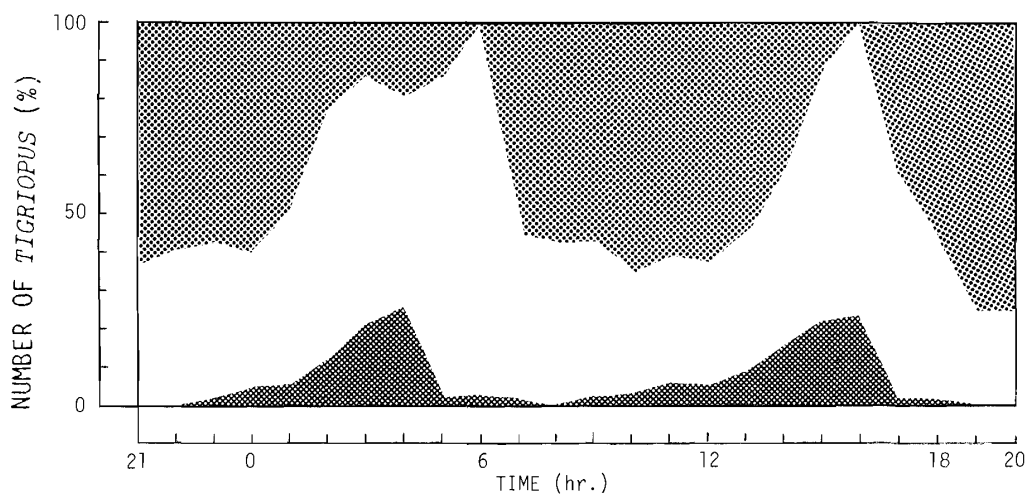


Fig. 51 Hourly changes in the percent number of *Tigriopus* found in digestive tract of juveniles.

stomach except rectum rectum

時頃には消化管内に全くチグリオパスが見られない個体が認められた。1時間ごとに稚魚の消化管内のチグリオパス数を計算すると、ふ化後25日稚魚(全長12.04～14.42mm)で0～493個, 平均124.3個, ふ化後29日稚魚(全長20.5～23.75mm)で0～2,600個, 平均902.5個である。これら消化管内のチグリオパス数の変化と胃, 腸及び直腸のそれぞれにおけるチグリオパス数の比率の経時的変化を対比して示すと, 摂餌のリズムと消化のリズムが良く一致する (Fig. 51)。

以上のように仔魚及び稚魚の摂餌の日周性については違いがあり, 前者では日の出と共に摂餌を開始し, 日中明るい間は常に摂餌を繰り返し, 日没暗くなると共に停止する。これに対し後者は, 日の出と共に摂餌活動が活発になり, 飽食に達すると停止し, 消化され空胃になると再び活発に摂餌するというように, 1日3回摂餌活動の活発な時間帯のあることが明らかになった。

以上述べたイシダイ仔稚魚の餌の種類と摂餌生態を考慮しながら, 最初の餌料としてワムシを用い, 成長に応じてカイアシ類, 魚介類ミンチを投餌すれば, ふ化後10日で全長約6mm, 20日で約1.2cm, 30日で約2.5cm, 40日で約4cm, 50日で約6cmに成長する (Fig.52)。

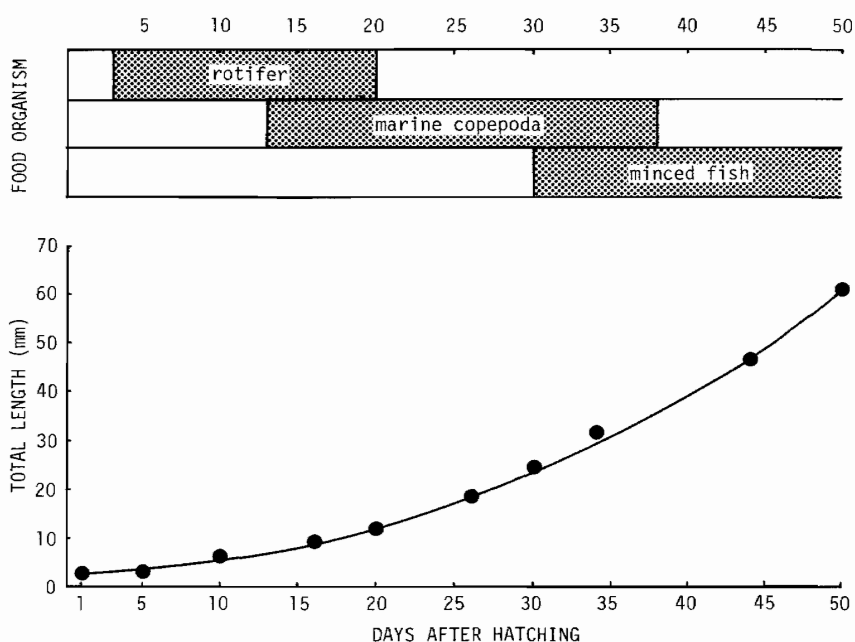


Fig. 52 Changes of food organisms used for early-stage fish according to growth.

2. 若魚期からの成長

天然イシダイの食性は, 全長10cm以上に成長するとこれまで動物性であったものが雑食性が強くなり, フジツボ, 貝類, エビ・カニ類の他, 海藻も摂るようになる。筆者はこのことを考慮して1970年にイガイ *Mytilus coruscus* GOULD, マサバ *Scomber japonicus* HOUTTUYN及びハマチ用粉末餌料などを用いて予備実験を行ったところ, マサバ区が最も成長が良かった。そのため, 1971年, イシダイ養殖に好適な餌料を探索する目的で各種生餌料及び粉末配合餌料を用いて成長実験

を行った。

実験はイカナゴ *Ammodytes personatus* GIRARD 給餌区, カタクチイワシ *Engraulis japonica* (HOUTTUYN) 給餌区, サンマ *Cololabis saira* (BREVOORT) 給餌区, マサバ給餌区, マアジ *Trachurus japonicus* (TEMMINCK et SCHLEGEL) 給餌区及び配合+カタクチイワシ給餌区(粉末配合餌料とカタクチイワシを重量比1:1に混合, ミンチしたもの)の6区とし, 1.8×1.8×水深2.5mのナイロン生簀網に平均体重192.7g, 平均フォーク長19.4cmの飼育若魚各30尾を収容した。飼育期間は8月22日から11月29日までの100日間とし, 10日ごとに体重, フォーク長の測定を行い, I~X期に分けて資料を取り纏めた。給餌は朝(9~11時), 夕(15~17時)の1日2回飽食するまで与えた。飽食には少量ずつ投餌して摂餌しなくなった時点で約30分間休止し, 再び投餌を繰り返して充分摂餌させた。また10時における水温, 海水比重及び溶存酸素量を測定した(Table 15)。その結果, 水温はII期

Table 15 Culture condition of young fish. (Aug. —Nov., 1971)

	Culture period	Av. water temp. (°C)	Av. specific gravity of sea water (σ^{15})	Av. dissolved oxygen (ml/l)
I	Aug. 22-Aug.31	23.6	21.20	5.20
II	Sept. 1-Sept.10	25.3	20.50	5.31
III	〃 11- 〃 20	24.3	18.90	4.75
IV	〃 21- 〃 30	24.0	21.90	4.64
V	Oct. 1-Oct. 10	22.7	22.90	4.93
VI	〃 11- 〃 20	22.1	22.50	4.90
VII	〃 21- 〃 30	21.3	22.70	4.67
VIII	〃 31-Nov. 9	20.2	23.40	4.75
IX	Nov. 10- 〃 19	19.1	21.10	5.13
X	〃 20- 〃 29	17.6	24.00	4.63

(9月1日~9月10日)が25.3℃と最高で漸次低下し, IX期(11月10日~11月19日)には20℃を割り, X期(11月20日~11月29日)には17.6℃と最低となった。海水比重は18.90~24.00(σ^{15}), 溶存酸素量は4.63~5.31ml/lでこの値からいずれもイシダイの摂餌活動に影響なかったものとする。

摂餌量は水温22.0℃以上のVI期(10月20日)までは各区共概して多く, その後水温の低下に伴い漸次減少する。総投餌量はマサバ区, 配合+カタクチイワシ区及びサンマ区がほとんど同量で多く, イカナゴ区及びカタクチイワシ区がこれに次ぎ, マアジ区が最も少ない(Table 16)。増重量は水温の高い9月10日までは各区揃って良好で, その後は各区まちまちであるが, 水温19℃以上の11月19日までは比較的順調に増重する。しかし水温18℃以下では各区共に体重の減少がみられ

Table 16 Total amount of food given.

Culture period	Experimental group					
	Sand eel	Anchovy	Saury	Horse mackerel	Mackerel	Formula food + Anchovy
I	367g	943g	1,424g	860g	1,453g	2,018g
II	1,390	1,343	1,982	978	2,178	2,288
III	1,013	790	1,482	856	1,702	1,425
IV	1,198	1,095	1,644	994	1,578	1,489
V	1,346	1,285	1,734	1,209	1,846	1,592
VI	1,416	1,093	1,857	750	1,337	1,301
VII	899	1,085	1,306	590	1,153	1,145
VIII	772	720	1,074	478	1,097	1,008
IX	725	838	1,058	491	924	993
X	510	626	843	351	813	767
Total	10,036	9,818	14,404	7,557	14,081	14,026

(Dry matter)

Table 17 Comparison of feed efficiency of different food during each culture period.

Test period		Experimental group					
		Sand eel	Anchovy	Saury	Horse mackerel	Mackerel	Formula food + Anchovy
I	Aug. 22-Aug. 31	41.7	86.9	29.5	48.9	35.8	20.8
II	Sept. 1-Sept.10	39.6	37.2	12.6	25.6	16.1	30.6
III	〃 11- 〃 20	34.5	6.3	30.4	5.8	26.4	7.0
IV	〃 21- 〃 30	10.0	4.6	15.2	10.1	7.6	6.7
V	Oct. 1-Oct. 10	20.8	23.3	—17.3	49.6	12.5	0
VI	〃 11- 〃 20	28.3	0	10.8	40.0	18.7	0
VII	〃 21- 〃 30	22.2	23.0	15.3	0	34.7	17.5
VIII	〃 31-Nov. 9	58.3	23.6	18.6	41.8	45.6	19.8
IX	Nov. 10- 〃 19	34.5	27.4	18.9	61.1	—16.2	10.1
X	〃 20- 〃 29	—58.5	—24.0	—11.9	—85.4	6.1	—26.1
All test period	Aug. 22-Nov. 29	26.10	22.61	11.94	25.41	20.03	11.55

(Calculated in terms of dry matter)

る(Fig. 53)。最終的に増肉量はマサバ区及びイカナゴ区が最も多く、カタクチイワシ区及びマアジ区がこれに次ぎ、サンマ区及び配合+カタクチイワシ区が最も少ない。

次に餌料効率をみると、全期を通じイカナゴ区及びマアジ区が最も高く、次いでカタクチイワシ区及びサバ区で、サンマ区及び配合+カタクチイワシ区が最も低い(Table 17)。

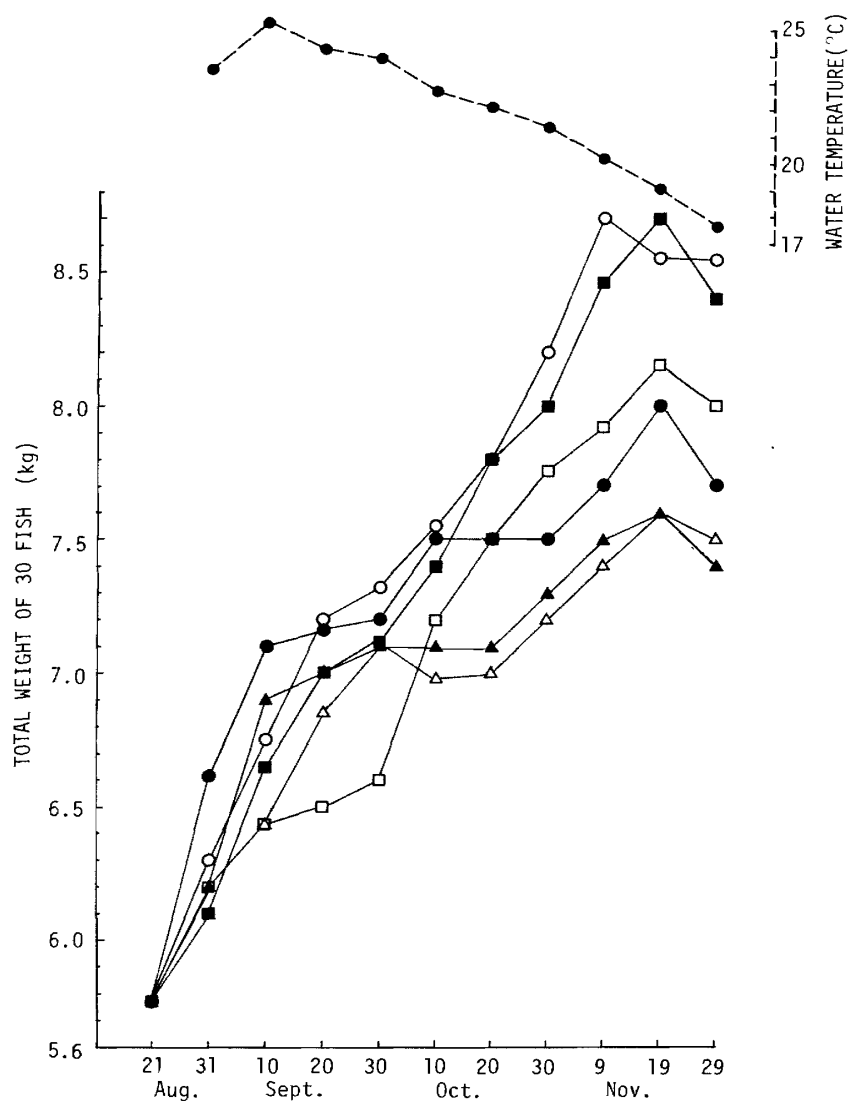


Fig. 53 Growth of young fish fed on different kind of food. Open circle, fed on mackerel; solid square, fed on sand eel; open square, fed on anchovy; solid circle, fed on horse mackerel; open triangle, fed on saury; solid triangle, fed on formula food plus anchovy.

以上の結果から、増肉量及び餌料効率が最も優れているのはイカナゴ及びマサバ区で、イシダイ若魚の餌料としてイカナゴ及びマサバが最も適しており、次いでカタクチイワシ、マアジも適している。なお水温18℃以下の環境では摂餌しても増肉がみられないので、イシダイ若魚の養成には18℃以上の水温がなるべく長期間維持できる海域が必要である。

第3節 成長と年齢

イシダイの一般的な成長をみるため、1969年5月初旬に人工ふ化したイシダイを用い、1973年4月まで4年間飼育を行い、その成長を追跡した。ふ化後50日までは陸上水槽で、その後は海面生簀網(7.2×7.2×水深3.5m)に2,500尾を収容し、生餌(イカナゴ、カタクチイワシ、サバなど)を与えて飼育した。1ヶ月にほぼ1回の割合で魚体測定を行い、平均体重、平均フォーク長を求めた(Fig. 54)。この結果、満1年の1970年5月にはフォーク長19.7cm、体重198.6g、2年の1971

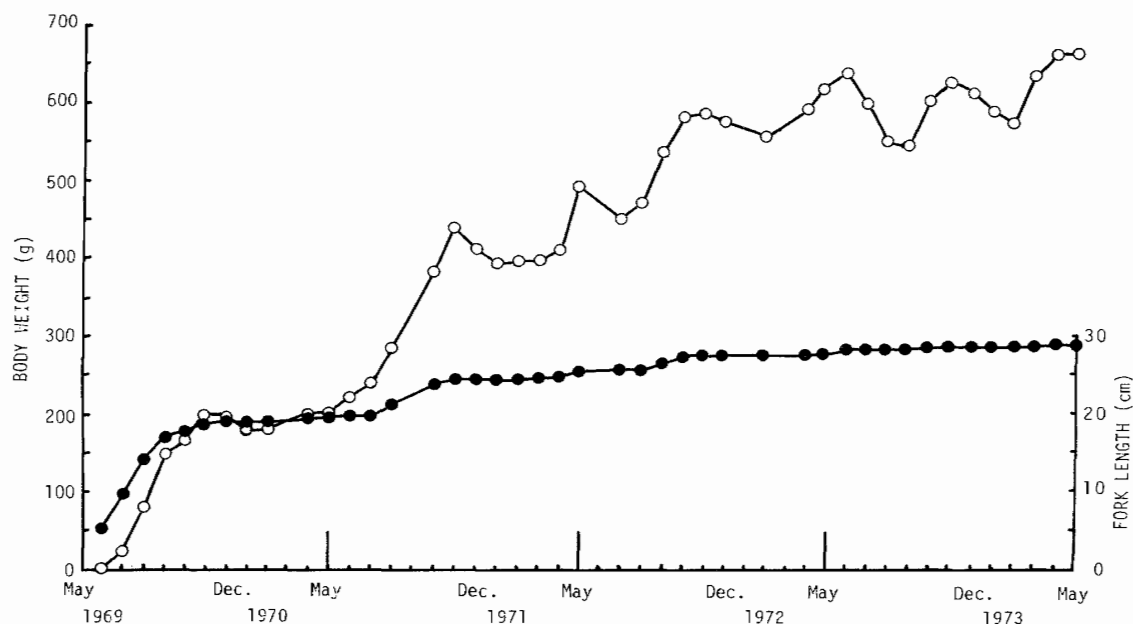


Fig. 54 Growth of cultured fish during 4 years. Open circle, body weight; solid circle, fork length.

年5月には25.8cm、497.0g、3年の1972年5月には27.5cm、622.0g、4年の1973年5月には28.5cm、664.0gに成長した。この成長をフォーク長、体重別にみると、当才魚のフォーク長は10月頃まで顕著な成長がみられるが、冬季は水温低下により停滞する。1～3才魚も同様に夏から秋には比較的良く成長し、冬季は停滞する。体重について、当才魚及び1才魚は6～11月に良く増肉するが、冬季12～翌1月にはむしろ体重の減少がみられる。2～3才魚は5～6月に良く増重するが、7～8月には著しい体重の減少が認められる。その後再び増重し、冬季1～2月にはまた減少するというように1年に2回の増減が認められる。この体重の増減は成熟に関連が深く、先に述べたようにイシダイは雄の一部は1年で成熟するが雌は成熟しない。したがって当才～1才魚の成長は主として栄養成長であり、冬季の体重の減少は水温の影響によるものである。これに対して2才魚からは雌雄共に成熟し、5～6月の成熟期にはGIが最高に達するいわゆる成熟成長が行われ、顕著な体重増加がみられる。その後放卵、放精によって体重の減少が起こり、9～10月からは再び栄養成長により増重するが、冬季低水温期には減少が起こる。このように栄養成

長の間は体重の減少は年1回であるのに対し、2才魚から成熟成長に移ると放卵、放精後及び冬季の低水温時の年2回、体重の減少が認められる。

以上の成長量を1年ごとにフォーク長，体重別に纏めると，フォーク長では当才魚が最も大きく，経年的に次第に小さくなり，3年魚では当才魚の約 $\frac{1}{2}$ の成長量にとどまる。体重では1才，当才，2才，3才の順に大きいと共に1才魚まで大きくその後は経年的に小さくなることが明らかになった (Fig. 55)。

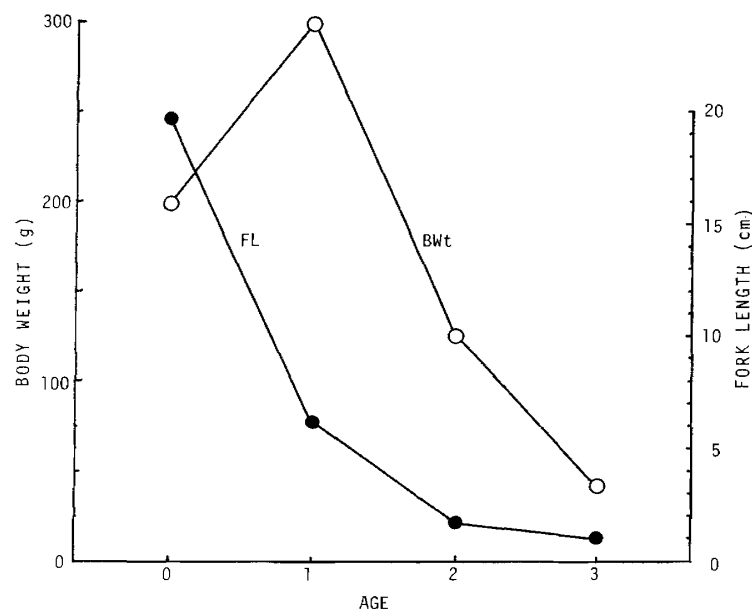


Fig. 55 Growth in length and weight of cultured fish in a year.

このことに関連してもう一つの実験を行った。実験は1976年5月に人工ふ化した稚魚の中から100尾を抽出して，生簀網で飼育を続け1976年7月11日，1年後の1977年7月16日及び2年後の1978年7月3日にそれぞれ全個体のフォーク長を測定し，これを1 cmごとの体長群に纏めた (Fig. 56)。その結果，各年級共，体長組成はほぼ正規分布で示される。それぞれの平均値及び標準偏差を求めると当才魚は 2.95 ± 0.75 cm，1才魚は 17.49 ± 1.14 cm，2才魚は 22.34 ± 1.33 cmとなる。これから当才魚は体長組成の変動が最も小さく，高年魚程個体間の成長に差が生ずると考えられ，モードも低くなる。また当才魚と1才魚の間隔が大きく，1才魚と2才魚のそれは小さく一部重複する。このことから当才魚から1才魚に至る間の成長が顕著で，1才魚から2才魚に至る間の成長が小さいことが明らかである。

肥満度の季節変化：年間の肥満度の変化を知ることは出荷時期の決定など養殖経営上重要であるのでこれについての実験を行った。

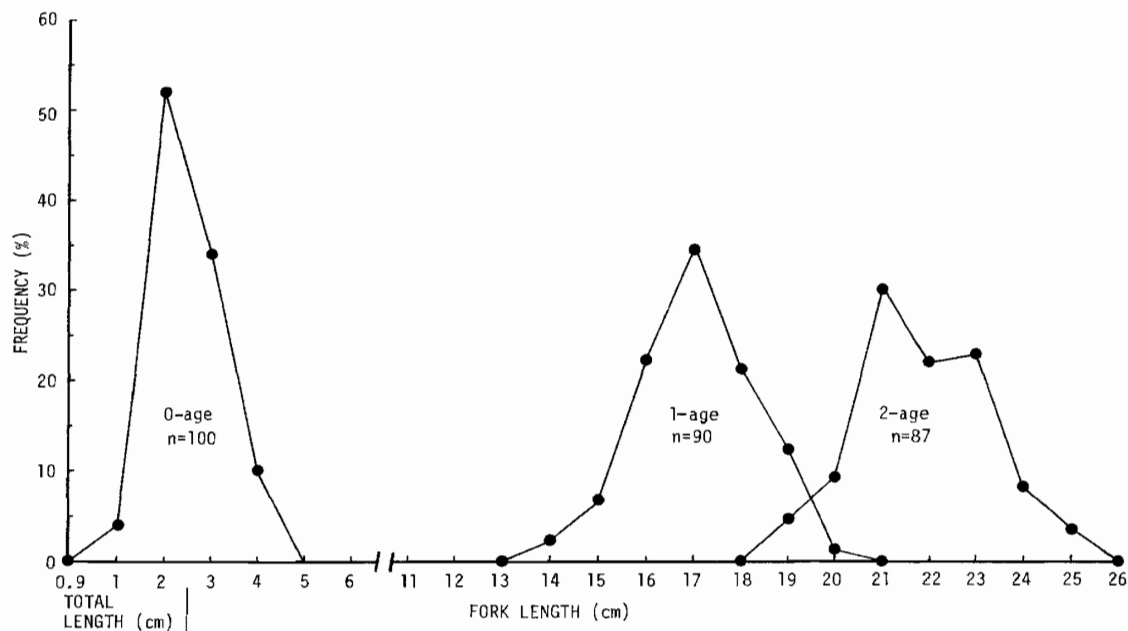


Fig. 56 Size-frequency distribution of cultured fish.

実験には先に行った飼育実験と同じ、1969年に人工ふ化した当才～4才魚を用いた。各年級群から毎月1回任意に20尾を抽出し、フォーク長、体重を測定し[体重/フォーク長³×1,000]によって肥満度を求めた(Fig. 57)。その結果、当才魚及び1才魚の肥満度は、7月から11月頃にかけて著しく大きい、12月から翌年春までは小さい。これは夏季の高水温時に良く摂餌し肥満するが冬季水温低下と共に摂餌活動が低下し、成長が停滞若しくは体重の減少が起こるためと思われる。

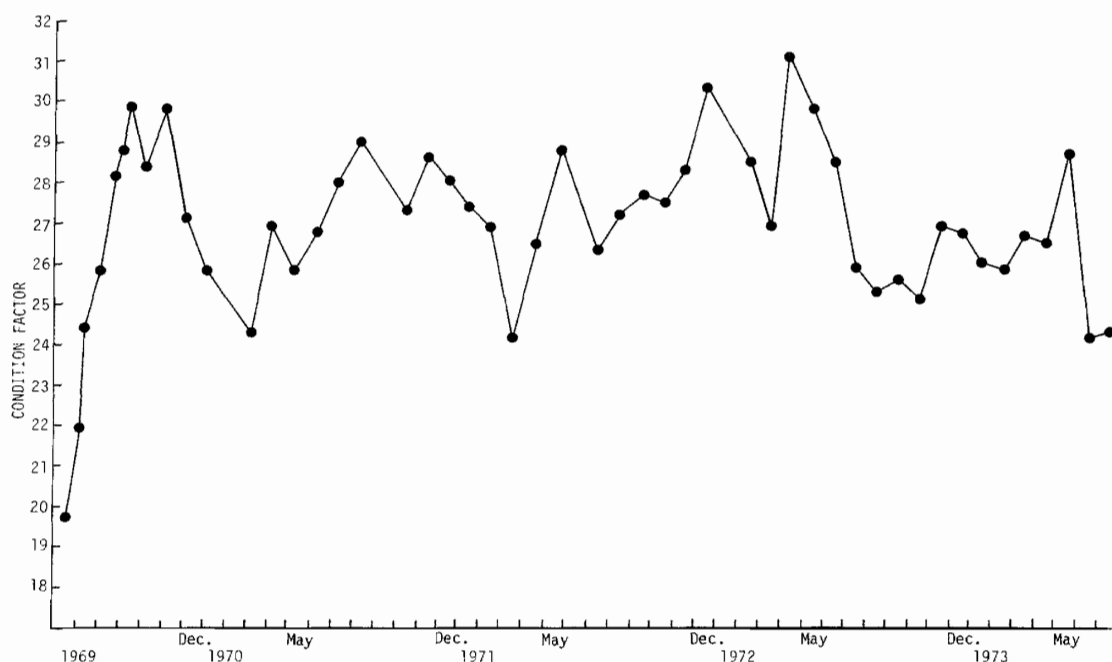


Fig. 57 Seasonal changes in the condition factor of cultured fish (0 to 4-age).

る。2才魚以上の肥満度は、多少の変異はあるが放卵、放精後の8～9月には小さく、その後大きくなるが冬季の低水温に遭遇すると再び小さくなる。さらに春季水温上昇に伴い、摂餌が活発になると共に体重増加がみられ、同時に成熟するために肥満度が大きくなる。このように当才～1才魚の肥満度の増減は摂餌活動と密接な関係があるが、2才魚以上では生殖巣の発達及び放卵、放精などの生殖活動が肥満度の増減に大きく関与する。

以上のようにイシダイの肥満度の季節的变化には、1才魚以下と2才魚以上の間に相違がみられるが、これは先に述べたイシダイの成長リズムとも良く合致している。

第5章 交雑による養殖種苗の生産

イシダイは養殖環境に慣れやすく、飼育及び繁殖が容易なことが養殖上の長所となっているが、成長の遅いことが難点となっている。このため、他魚種との交雑を行うことによって、成長の良い交雑養殖品種をつくることを目的として研究を行った。

この実験の対象種には、イシダイと生態的に良く似たメジナ及びイシダイに近縁なイシガキダイを選定した。メジナ Rudder fish, *Girella punctata* GRAY は磯魚として量的に多く、環境適応が広い特性をもっており、イシガキダイ Spotted parrot fish, *Oplegnathus punctatus* (TEMMINCK et SCHLEGEL) はイシダイに比べ成長が早い特性を備えている。

第1節 メジナとの交雑種

イシダイとメジナの交雑実験は、1971年5月18日に、イシダイ(飼育4才魚)の卵とメジナ(飼育3才魚)の精子による人工受精を行った。受精率は66.7%で、卵発生経過はイシダイと同様で、水温19.9~20.5℃で37時間20分でふ化し始め、40時間10分で終了し、ふ化率は46.7%であった。なお対象としてイシダイを同方法で比較飼育した。

成長：交雑種の成長はふ化後50日までの交雑種と、同時にふ化したイシダイを用いて比較した(Fig.58)。その結果、交雑種はイシダイに比してやや成長が悪い。さらにふ化後60日以後の交雑種の成長について、交雑種、イシダイ及び天然採捕のメジナを用いて比較した(Fig.59)。その結

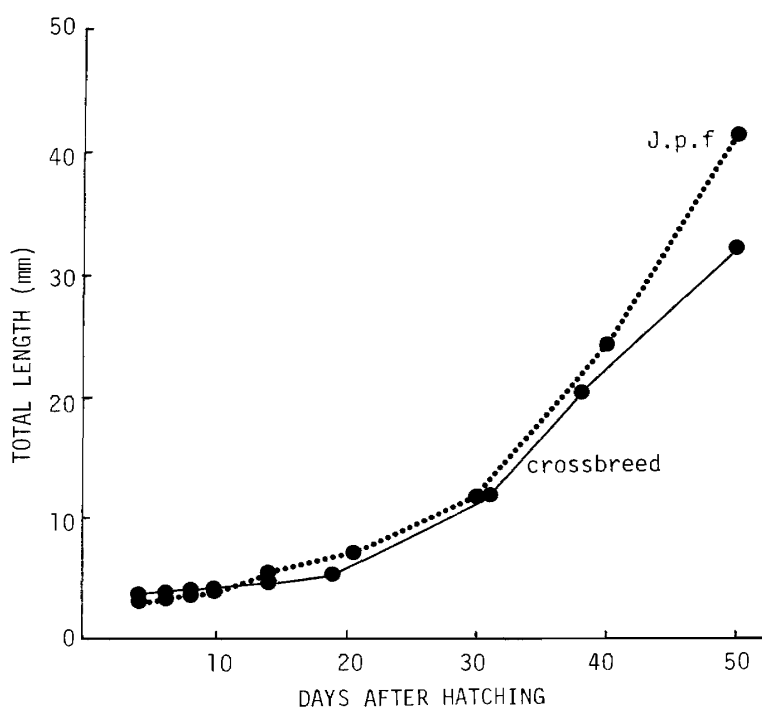


Fig. 58 Growth of larvae of Japanese parrot fish and crossbreed, Japanese parrot fish × rudder fish.

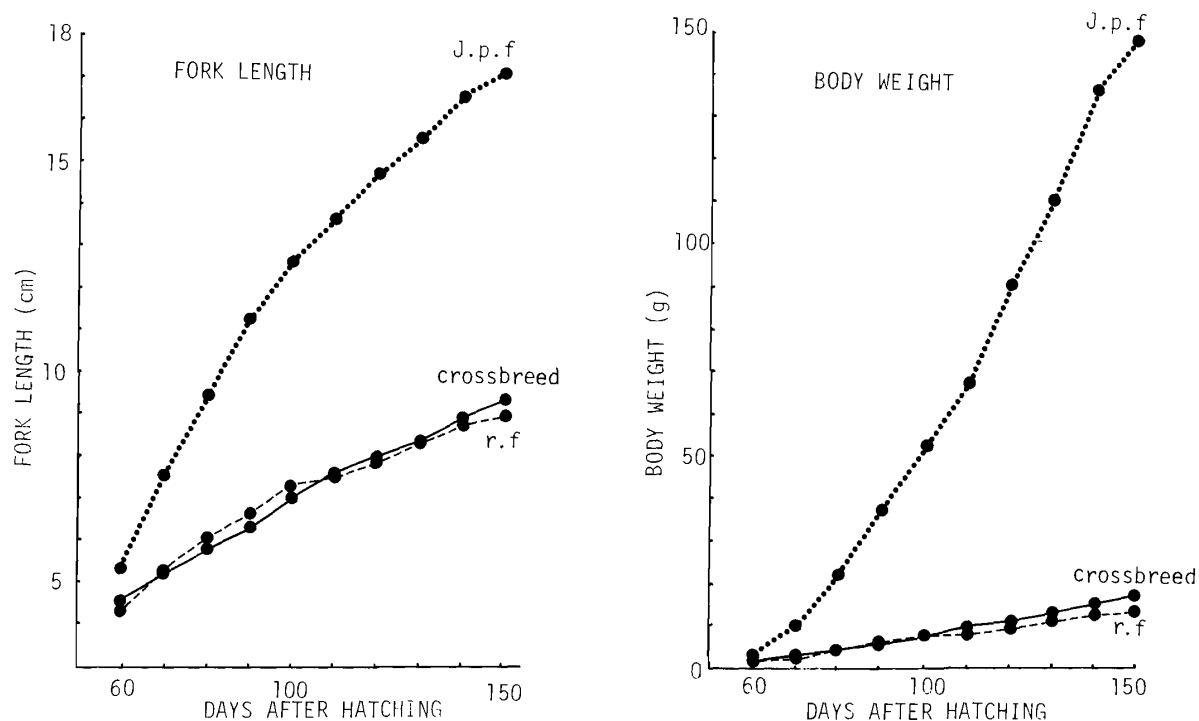


Fig. 59 Growth of Japanese parrot fish, rudder fish and crossbreed, Japanese parrot fish \times rudder fish.

果、交雑種はメジナとほぼ同様の成長傾向を示し、イシダイよりかなり成長が遅い。

斑紋及び体形的特徴：ふ化直後の仔魚の全長は2.12～2.16mm(平均2.15mm)で、黒色素胞は体背面及び腹面に沿って分布し、肛門より前方では体側にも多く分布する。黄色素胞も体全般にわたり分布し、体中央より前方、特に頭部及び眼胞付近に多いが、黒色素胞より少ない(Fig.60-A)。

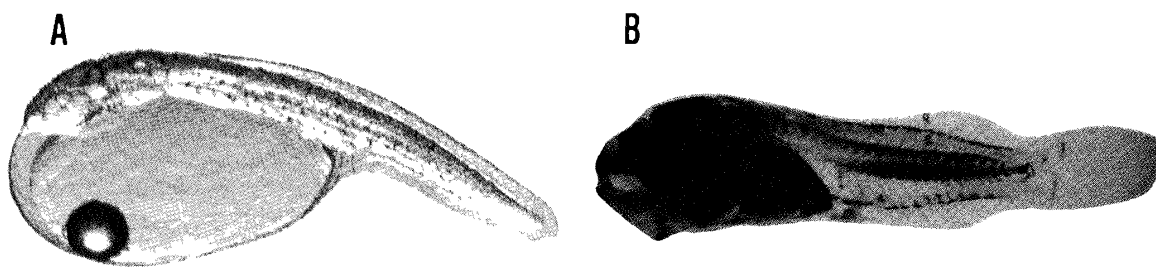


Fig. 60 Larva of crossbreed, Japanese parrot fish \times rudder fish. A, Newly hatched larva: total length 2.15mm; B, 17-day after hatching: total length 5.0mm.

ふ化後17日仔魚(平均全長5.0mm)の黒色素胞は、イシダイに比して体側中央部と腹部に密に分布する(Fig.60-B)。ふ化後28日稚魚(平均全長7.5mm)は、頭部から腹部にかけてメジナ稚魚の特徴的な青色を呈する。ふ化後38日稚魚は全長2cmに達し、イシダイ稚魚では全長1cmに始まり、2cmでほぼ完成する7条の横縞の形成が始まる。さらにふ化後110日若魚(平均フォーク長9.3cm)には

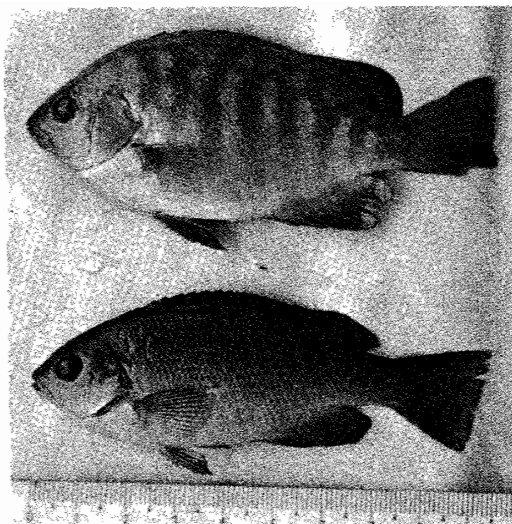


Fig. 61 Above: young of crossbreed, 110-day after hatching. Bottom: young of rudder fish. Live specimens.



Fig. 62 Live fish, 3 crossbreeds and 4 rudder fish.

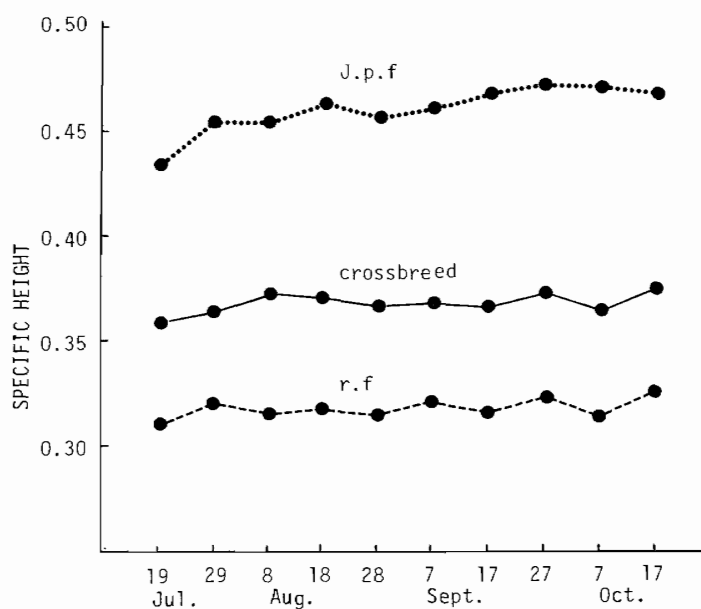


Fig. 63 Differences in specific height (BH/FL) among 3 kinds of fish.

第1横縞と第2横縞間に3条の横縞が出現し、横縞は10～11条に増加する。さらに体側背部に沿って1本の縦縞が出現し、この縦縞は交雑種の顕著な特徴とみられる(Figs.61, 62)。また交雑種の比体高はイシダイとメジナの間値となり、イシダイの体高に比して低い(Fig.63)。鰭条数について、イシダイは背鰭11～12棘17～18軟条；臀鰭3棘12～13軟条でメジナは背鰭15棘13軟条；臀鰭3棘12軟条であるのに対し、交雑種の鰭条数はそれらの中間値を示し、背鰭13棘15軟条；臀鰭3棘13軟条が42%を占めた(Table 18)。

Table 18 Variation in the number of dorsal and anal fin rays among 24 crossbreeds.

Dorsal fin		Anal fin		No. of individual
No. of spines	No. of soft rays	No. of spines	No. of soft rays	
XII	12	III	10	1
XII	14	III	13	1
XII	15	III	12	1
XIII	14	III	13	1
XIII	15	III	12	1
XIII	15	III	13	10
XIII	15	III	14	1
XIII	15	IV	13	1
XIII	16	III	12	2
XIII	16	III	13	1
XIII	16	III	14	2
XIII	17	III	13	1
XIV	13	III	13	1

以上イシダイとメジナの交雑実験では受精率、ふ化率共にかなり良いが、成長はメジナに似てイシダイよりはかなり悪く、生残率も0.04%と極めて低い。

第2節 イシガキダイとの交雑種

イシダイとイシガキダイの交雑実験は、イシダイ(I)の雌とイシガキダイ(G)の雄の交雑(I×G)により第1代(F₁)をつくり、これにイシガキダイ雄の交雑により、戻し交雑第1代(G・B₁)をつ

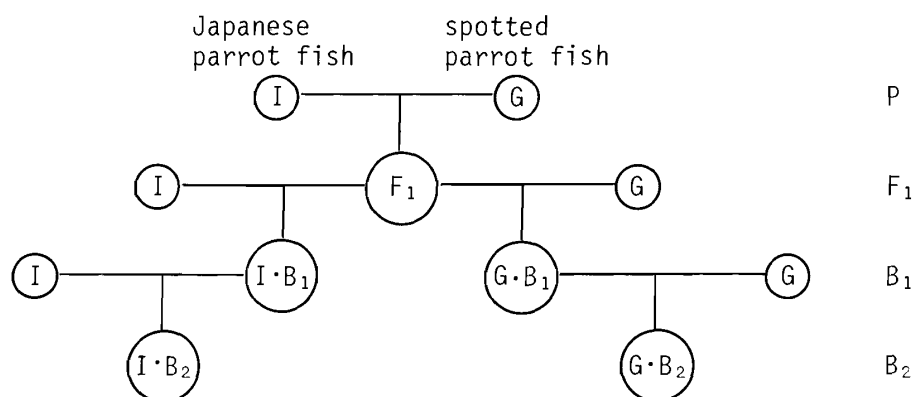


Fig. 64 Crossbreeding diagram of Japanese parrot fish and spotted parrot fish.

くった。さらにイシガキダイ雄の交雑により戻し交雑第2代($G \cdot B_2$)をつくった。また前記(F_1)にイシダイ雄の交雑により戻し交雑第1代($I \cdot B_1$)をつくり、さらにイシダイ雄の交雑により戻し交雑第2代($I \cdot B_2$)をつくった(Fig.64)。

1. イシダイ×イシガキダイ(F_1)

イシダイとイシガキダイによる交雑実験は1970年6月22日にイシダイ(飼育4才魚, フォーク長34.1cm)の卵とイシガキダイ(飼育4才魚, フォーク長39.5cm)の精子による人工受精を行った。卵径は0.86~0.99mm平均0.92mmで受精率は55.4%であった。平均水温22.4℃で受精後32時間5分でふ化し始め、ふ化率は35.5%で、ふ化仔魚の大きさは平均全長2.33mmである。

成長： F_1 の成長はふ化後150日までの F_1 とイシダイ及びイシガキダイを用いて比較した(Fig.65)。

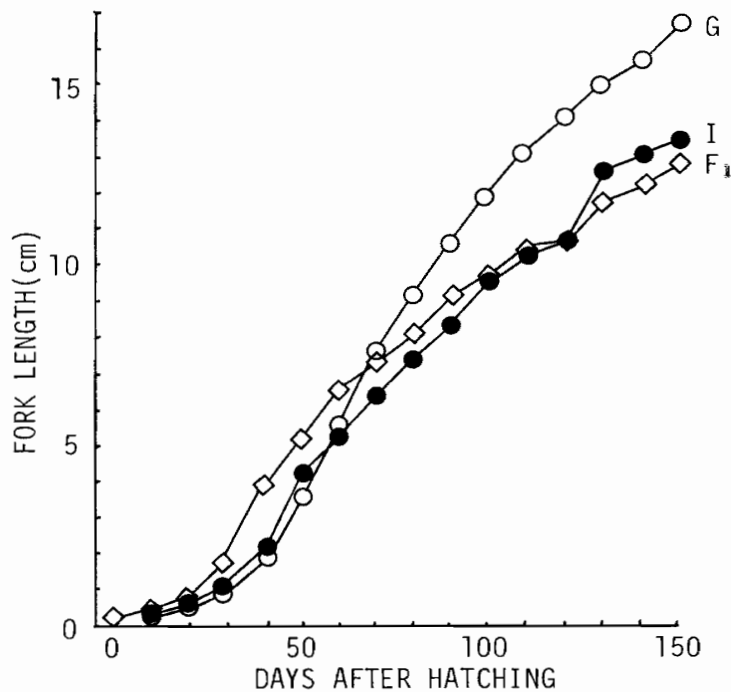


Fig. 65 Growth of Japanese parrot fish (I), spotted parrot fish(G) and cross-breeds(F_1).

この結果、 F_1 の体長はふ化後30日頃から成長が良くなり、150日には平均12.8cmに達した。この成長はイシダイとほぼ同じ傾向にあり、イシガキダイよりは悪い。 F_1 の生残率はふ化後150日で8.8%で、イシダイの場合と近似する。

また F_1 の4年にわたる成長をみるため、1970年7月2日に人工ふ化した材料を用いて飼育した。満1年6ヶ月目には平均フォーク長29.1cm, 平均体重731.9g, 満2年で雌雄共に一部が成熟し、満4年6ヶ月目には平均フォーク長38.5cm, 平均体重1,550gに達した(Table 19)。

Table 19 Growth of F₁ crossbreeds.*

Date	Av. fork length (cm)	Av. body weight (g)
Dec. 11, 1970	15.9	124.8
21, 1971	29.1	731.9
20, 1972	32.1	930.0
12, 1973	35.6	1,310.0
25, 1974	38.5	1,550.0

* Japanese parrot fish(I) × spotted parrot fish(G).

この結果によれば、イシダイの成長に比してF₁の体重増は4年目で約57%上まわる。

斑紋及び体形的特徴：ふ化後31日稚魚(平均フォーク長2.5cm)の斑紋は変異はあるが、イシダイと良く似た横縞がみられ(Fig.66-A)，ふ化後38日(平均フォーク長4.8cm)になるとイシガキダイにみられる斑点が出現し始める(Fig.66-B)。ふ化後51日(平均フォーク長7.2cm)の若魚期になると斑点が増加し、イシダイとイシガキダイ双方の特徴を示すようになる(Fig.66-C)。ふ化後90日(平均フォーク長18.3cm)になると第1横縞のみが残り、他は斑点へと変化する(Fig.66-D)。ふ

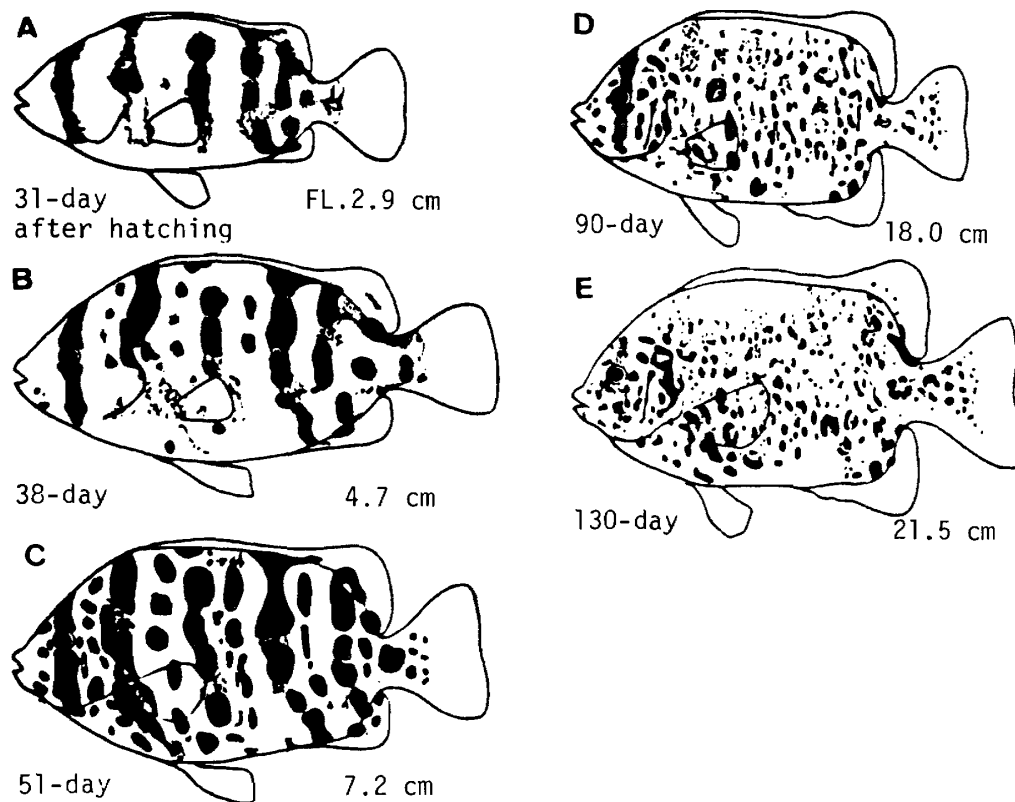


Fig. 66 Changes in coloring of F₁(J.p.f × s.p.f) crossbreed with growth.

化後130日(平均フォーク長21.0cm)には第1横縞も不明瞭となり、斑点は小型化する(Fig.66-E)。
 またF₁、イシダイ及びイシガキダイの比体高をフォーク長7.0~21.0cmの範囲で比較した(Fig.67)。
 その結果、フォーク長10cmを越えると比体高に差が生じ、イシガキダイが最も体高が高く、イシ
 ダイが低く、F₁はその中間形を示す。

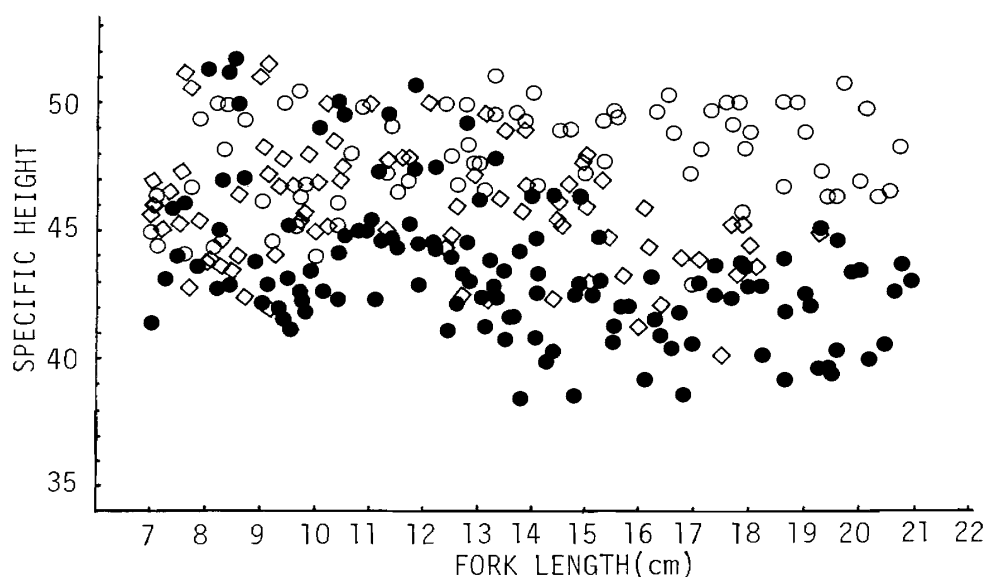


Fig. 67 Differences in specific height (BH/FL) among Japanese parrot fish, spotted parrot fish and F₁ crossbreed. Open circle, spotted parrot fish; open square, F₁; solid circle, Japanese parrot fish.

2. F₁×イシガキダイ(G・B₁)

さらに、成長の良い交雑種をつくるため、イシガキダイによる戻し交雑を行った。実験は1974年6月29日に、F₁(飼育4才魚、フォーク長38.5cm)の卵とイシガキダイ(飼育4才魚、フォーク長39.5cm)の精子による人工受精を行った。卵径は0.91~0.97mm(平均0.95mm)で、イシダイ0.77~0.98mm(平均0.87mm)とイシガキダイ1.00~1.11mm(平均1.07mm)の間である。受精率は63.5%で、水温22.4~23.6℃で受精後25時間10分にふ化が始まり、ふ化率は52.1%であった。G・B₁のふ化仔魚は平均全長2.42mmで、イシダイ(平均2.2mm)とイシガキダイ(平均2.86mm)の間である。

成長：G・B₁の成長は、F₁及びイシガキダイを用いて比較した(Fig.68)。その結果、G・B₁の体長は、ふ化後30日頃から良く成長し、ふ化後100日で平均全長11.5cmに達した。この成長はふ化後70日までの初期はF₁に似るが、その後はイシガキダイの成長にほぼ一致する。しかし、ふ化後100日までの生残率は2.8%と低かった。

またG・B₁の4年にわたる成長をみるため、続けて飼育を行った。その結果、満1年6ヶ月目には、平均フォーク長28.0cm、平均体重680gに成長し、満3年6ヶ月目には平均フォーク長32.8

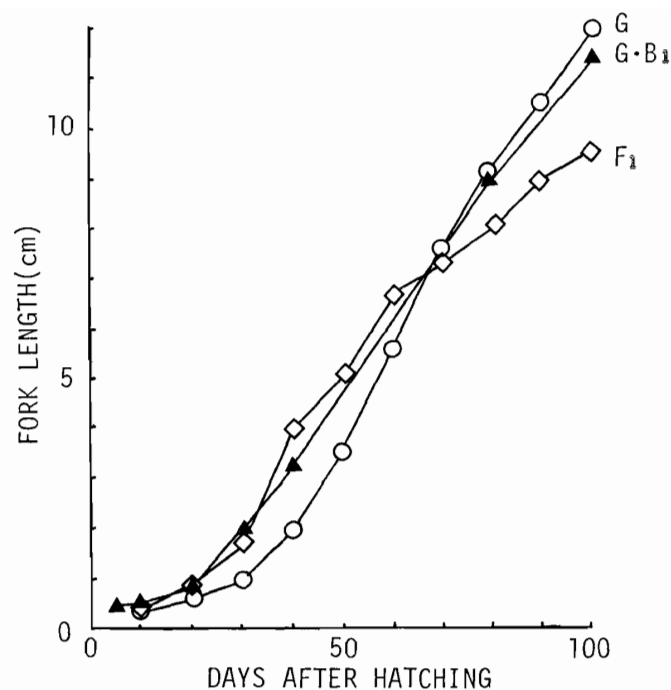


Fig. 68 Growth of G·B₁, F₁ and G.

cm, 平均体重1,070gに達し, 満4年で雌が成熟した。満4年6ヶ月目には平均フォーク長35.2cm, 平均体重1,350gに成長した (Table 20)。この成長は同時に飼育したイシダイの成長より約40%の体重増がみられた。

Table 20 Growth of G·B₁ (F₁ × s.p.f.).

Date	Av. fork length (cm)	Av. body weight (g)
Dec. 31, 1974	17.1	160
28, 1975	28.0	680
10, 1976	31.1	890
8, 1977	32.8	1,070
12, 1978	35.2	1,350

斑紋及び体形的特徴：ふ化後30日稚魚(平均全長2.0cm)の横縞は, イシダイよりやや不規則である (Fig.69-A)。ふ化後40日(平均全長3.2cm)には, 横縞間に斑点が生じ, 次いで横縞が分断されて斑点となる (Fig.69-B)。ふ化後80~100日(フォーク長9.0~9.5cm)には, 体全体に斑点が増加し, イシガキダイの斑点模様が顕著になる (Fig.69-C, D)。満1年(平均フォーク長23.5cm)で横縞はほとんど消え, 眼の位置を通る1条のみが僅かに認められるものもある。斑点はイシガキダイの模様に類似するが, その形や大小及び分布に個体差が著しい (Fig.69-E)。 以上のように,

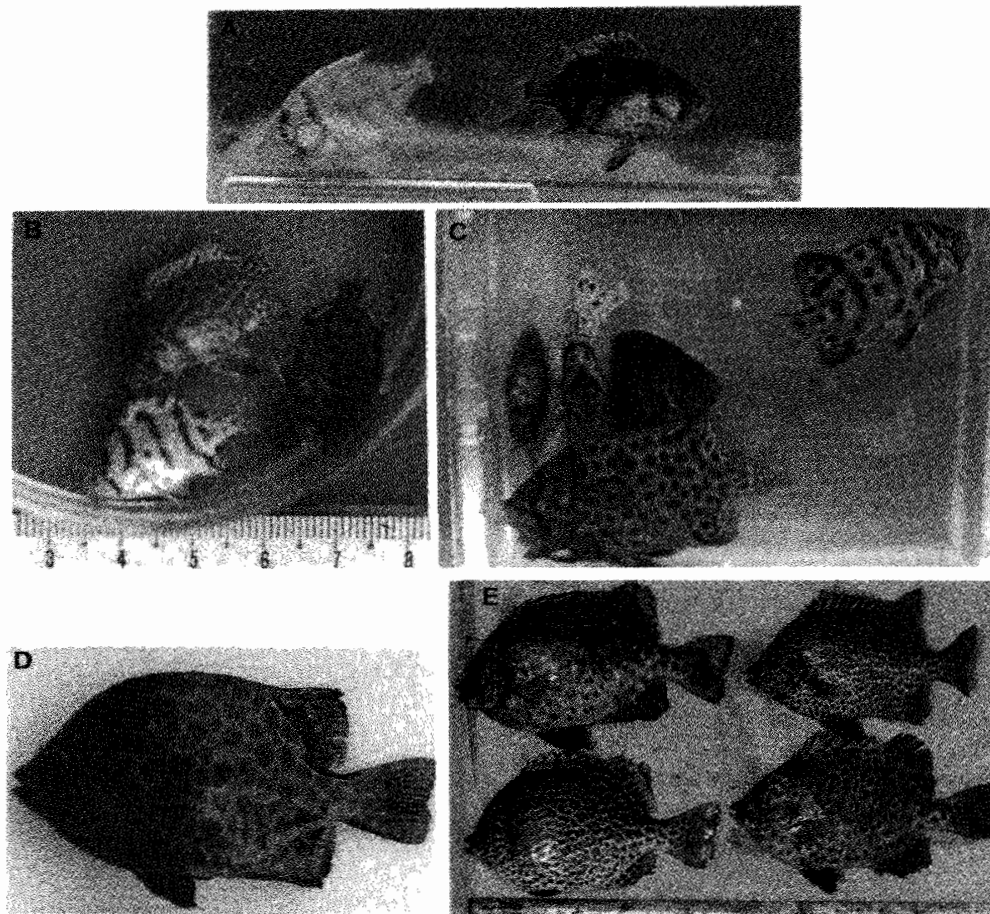


Fig. 69 Changes in coloring of G·B₁ (F₁ × s.p.f) with growth.

G·B₁の斑紋は最初イシダイ様の横縞が出現し、次にこの横縞間に斑点が生じ、横縞も分断され斑点となり、イシガキダイ様の斑紋に変化する。またふ化後90日前後(フォーク長9.0~9.5cm)まではF₁とほぼ同じであるが、F₁は満1年以上では斑点が徐々に褪色し、不鮮明になる場合が多いが、G·B₁はイシガキダイ様の斑点がF₁より明瞭に残る。体高についてはイシガキダイ、G·B₂とほぼ同じで、イシダイより大きい(Fig.72)。

3. G·B₁ × イシガキダイ (G·B₂)

さらに、G·B₁にイシガキダイを交雑し、より成長の良い交雑種をつくるための実験を行った。実験は1978年6月22日に、G·B₁(飼育4才魚、フォーク長30.5cm)の卵とイシガキダイ(飼育8才魚、フォーク長45.2cm)の精子による人工受精を行った。卵径は0.94~1.04mm、平均0.99mmで、受精率は38.5%であった。水温21.7~23.8℃で受精後29時間40分でふ化し始め、ふ化率は21.4%で、ふ化仔魚の全長は2.38~2.78mm、平均2.60mmでG·B₁よりやや大きい。

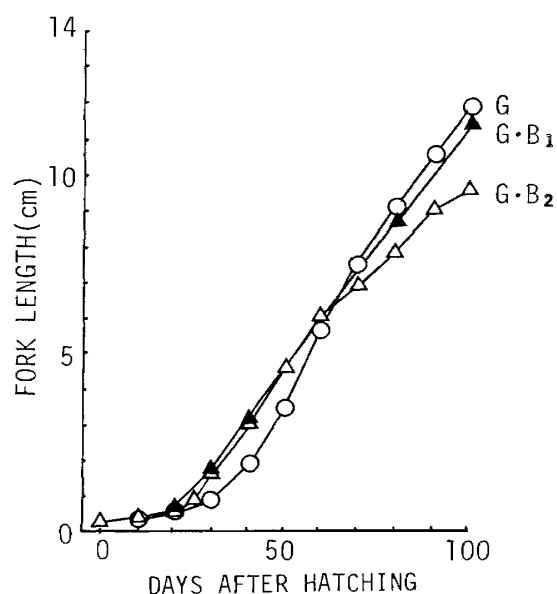


Fig. 70 Growth of G·B₂, G·B₁ and G.

成長：G·B₂の成長は、ふ化後100日までのG·B₁及びイシガキダイを用いて比較した(Fig.70)。その結果、ふ化後30日頃から良く成長し、ふ化後100日で平均フォーク長9.7cm、平均体重25.0 gに達した。この成長はふ化後60日まではイシダイより良く、G·B₁とほぼ同様であるが、その後は両者より悪く、ふ化後100日までの生残率も1.9%と低かった。またG·B₂の3年にわたる成長をみるため、続けて飼育を行った。その結果、満1年6ヶ月目には平均フォーク長21.0cm、平均体重240g、満3年6ヶ月目には、平均フォーク長27.1cm、平均体重553gに達した。この成長は体重でG·B₁の約48%、イシガキダイの約47%にとどまった(Table 21)。

Table 21 Growth of G·B₂ (G·B₁ × s.p.f.).

Date	Av. fork length (cm)	Av. body weight (g)
Dec. 20, 1979	21.0	240
25, 1980	24.2	363
15, 1981	27.1	553

斑紋及び体形的特徴：ふ化後31日稚魚(平均フォーク長2.08cm)の斑紋は、横縞、縦縞及び雲型模様など変化に富む(Fig. 71-A)。ふ化後43日(平均フォーク長4.9cm)になると、これら縞模様は分断し、大型の斑点となる(Fig. 71-B)。ふ化後56日若魚(平均フォーク長8.4cm)になると、この斑点間に小斑点が生ずる(Fig. 71-C)。ふ化後70日(平均フォーク長9.4cm)には、斑点が増加しその大きさに大小が認められる(Fig. 71-D)。ふ化後110日(平均フォーク長12.8cm)には、さらに数

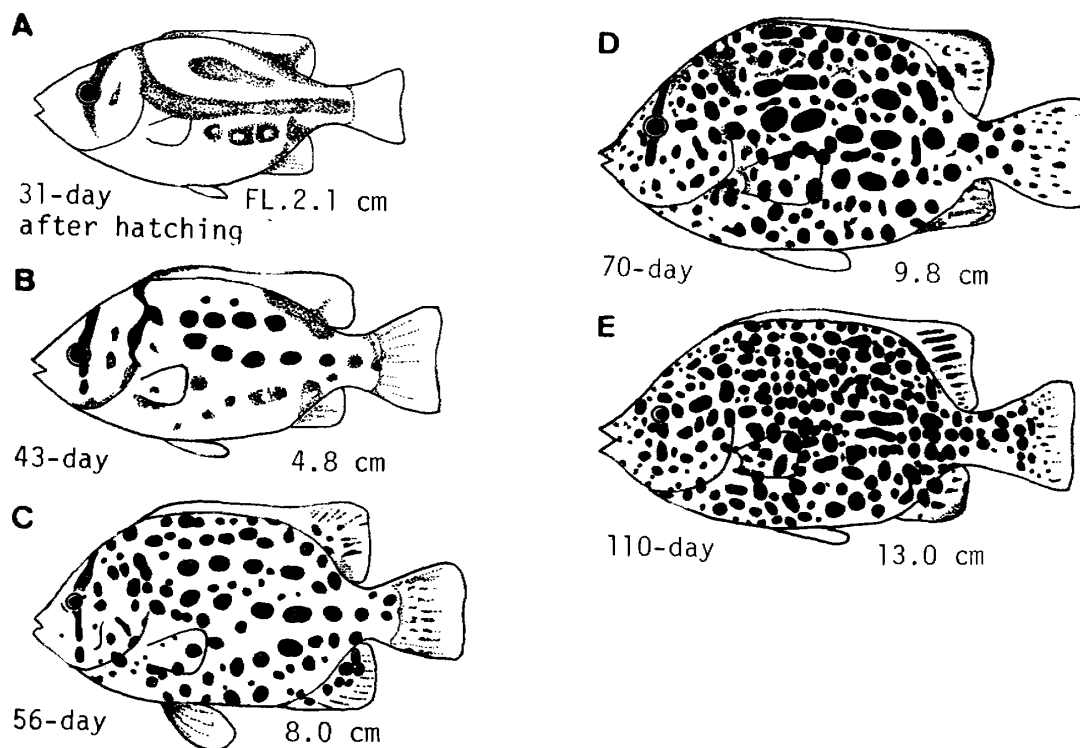


Fig. 71 Changes in coloring of G·B₂ (G·B₁ × G) crossbreed with growth.

を増し、イシガキダイの斑紋と類似する (Fig. 71-E)。この斑紋は3年経過しても明瞭に残る。次

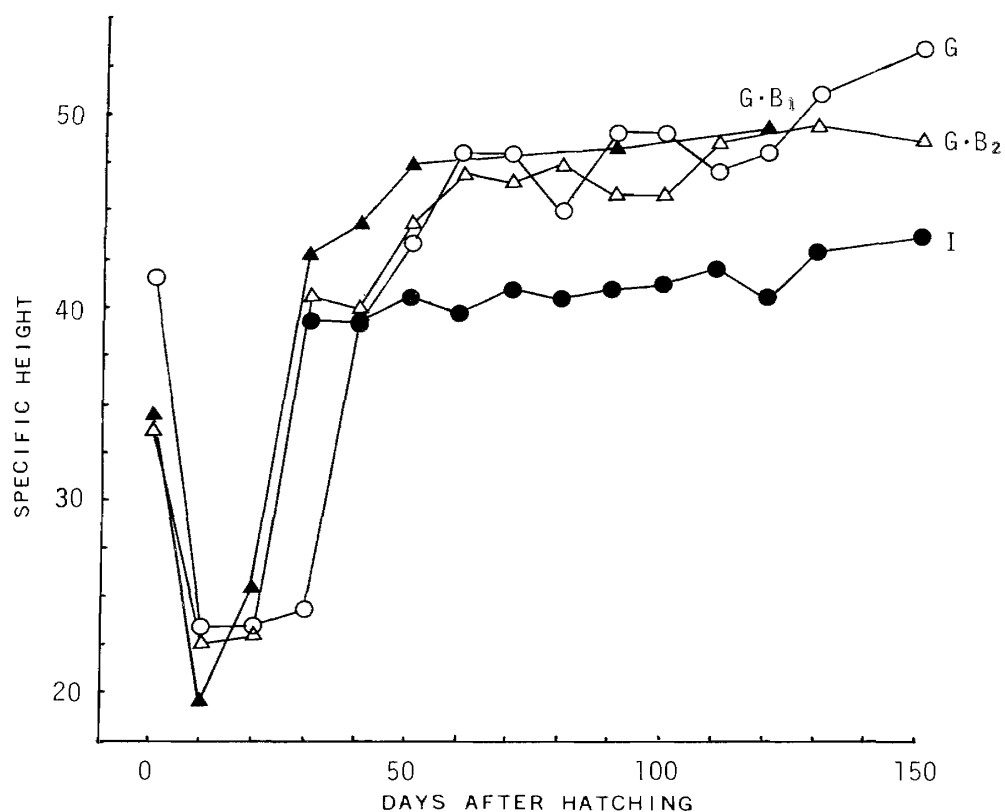


Fig. 72 Differences in specific height (BH/FL) among 2 species and 2 crossbreeds.

にG・B₂とイシダイ、イシガキダイ及びG・B₁の4種について、比体高を用いて体形を比較した。イシダイはふ化後30日から、他の3種はふ化直後から測定した結果、G・B₂の比体高はイシガキダイ及びG・B₁とほぼ同じで大きく、イシダイのみが小さい(Fig.72)。

このようにG・B₂の体形は、G・B₁とイシガキダイに類似する。

4. F₁×イシダイ(I・B₁)

F₁にイシダイを戻し交雑する実験を行った。1974年6月20日に、F₁(飼育4才魚、フォーク長38.5cm)の卵とイシダイ(飼育3才魚、フォーク長30.7cm)の精子による人工受精を行った。卵径は0.94~0.99mm平均0.97mmでイシダイ(平均0.87mm)より大きい。受精率は55.6%で、水温23.6~25.6℃で受精後25時間30分でふ化し始め、ふ化率は48.4%で、ふ化仔魚の大きさは全長2.16~2.34mm平均2.28mmである。

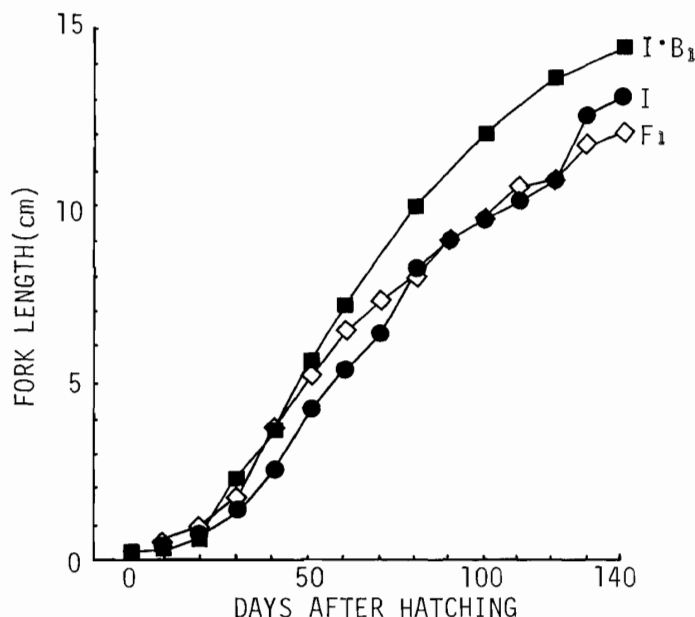


Fig. 73 Growth of I・B₁, F₁ and I.

成長：I・B₁の成長は、ふ化後140日までのI・B₁とイシダイ及びF₁を用いて比較した(Fig.73)。その結果、I・B₁の成長はふ化後30日頃から良くなり、140日には平均フォーク長14.5cmに達した。この成長は、ふ化後50日まではイシダイとほとんど同じでF₁より良く、その後は両者より良かった。ふ化後140日の生残率は7.7%であった。またI・B₁の4年にわたる成長をみるため、同じ産卵期にふ化したイシダイ及びG・B₁を別々に同時飼育し比較した。その結果、I・B₁は満1年6ヶ月目には平均フォーク長25.8cm、平均体重490gに成長し、満2年で雌雄共成熟した。満4年6ヶ月目には、平均フォーク長36.6cm、平均体重1,340gに達した (Table 22)。この結果によれば、G・

Table 22 Growth of I·B₁ (F₁ × J.p.f).

Date	Av. fork length (cm)	Av. body weight (g)
Dec. 31, 1974	16.6	140
28, 1975	25.8	490
10, 1976	30.3	750
8, 1977	32.6	945
12, 1978	36.6	1,340

B₁ とほぼ同じ成長で、イシダイの成長に比してI·B₁は満4年6ヶ月で約31%の体重増がみられた。

斑紋及び体形的特徴：ふ化後35日稚魚(平均フォーク長3.3cm)の斑紋は、イシダイに良く似た横縞をもつ個体と、第1、第2横縞はイシダイとほぼ同じでその後は複雑化し成長に伴いその間隙に斑点が生ずる個体とがみられる。ふ化後140日若魚(平均フォーク長16.6cm)以上になると、斑紋は次第にうすくなる傾向にある(Fig.74)。次にふ化後140までのI·B₁、イシダイ、イシガキダ

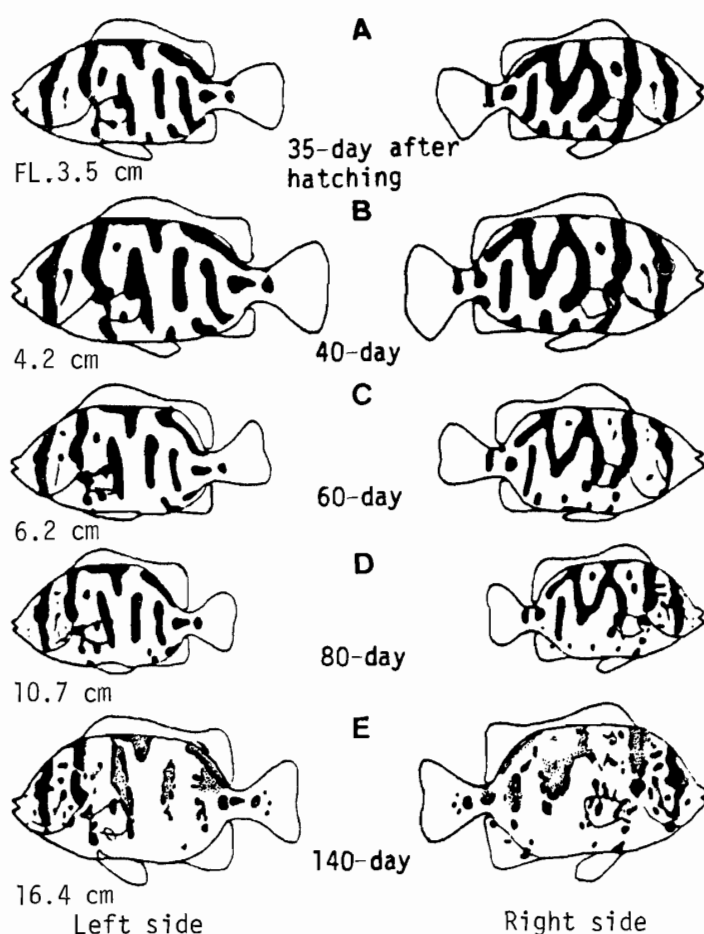


Fig. 74 Changes in coloring of I·B₁ (F₁ × J.p.f) with growth.

イ及びI・B₂の4種について、比体高を用いて体形を比較した。その結果、イシガキダイの比体高が大きく、次いでI・B₁及びI・B₂でイシダイが小さい(Fig.75)。このように、I・B₁の体形はI・B₂とほとんど同じで、イシダイとイシガキダイの間である。

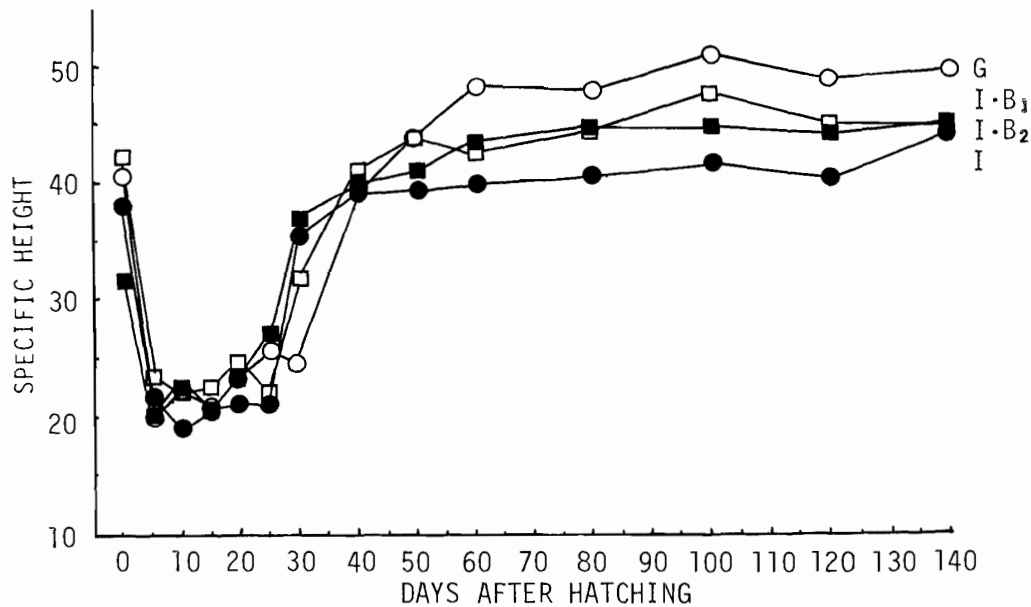


Fig. 75 Differences in specific height (BH/FL) among 2 species and 2 crossbreeds.

5. I・B₁×イシダイ(I・B₂)

さらに、I・B₁にイシダイを戻し交雑をする実験を行った。1976年6月22日にI・B₁(飼育2才魚、フォーク長25.7cm)の卵とイシダイ(飼育3才魚、フォーク長31.0cm)による人工受精を行った。卵径は0.86~0.93mm平均0.89mmで、I・B₁よりやや小さい。受精率は55.0%で、水温24.2~26.6℃で受精後22時間20分でふ化し始め、ふ化率は51.2%で、ふ化仔魚の大きさは全長2.0~2.21mm平均2.09mmでI・B₁よりやや小さい。

成長: I・B₂の成長は、ふ化後140日までのI・B₂、I・B₁及びイシダイを用いて比較した(Fig.76)。その結果、I・B₂の成長は、ふ化後30日頃から良くなり、140日には平均フォーク長14.3cmに達する。この成長はI・B₁の成長とほとんど同じで、イシダイより良い。またふ化後140日までの生残率は7.3%であった。次いでI・B₂の4年にわたる成長をみるため、続けて飼育を行った。その結果、満1年6ヶ月目には平均フォーク長19.2cm、平均体重170gに成長し、満4年で雌雄共、その1部に成熟個体がみられた。満4年6ヶ月目には平均フォーク長28.7cm、平均体重725gに達する(Table 23)。この成長は、1974年にふ化したI・B₁より約46%、イシダイより約24%の体重減でI・B₁及びイシダイに比して成長が悪い。

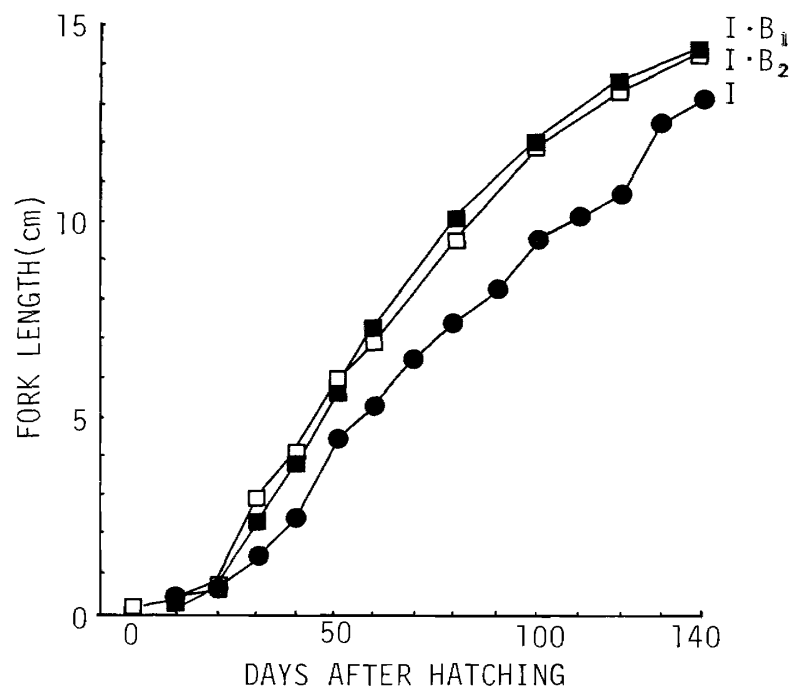


Fig. 76 Growth of I·B₂, I·B₁ and I.

Table 23 Growth of I·B₂ (I·B₁ × J.p.f).

Date	Av. fork length (cm)	Av. body weight (g)
Dec. 10, 1976	15.0	101.9
4, 1977	19.2	170.0
15, 1978	25.4	400.0
3, 1979	28.3	560.0
25, 1980	28.7	725.0

斑紋及び体形的特徴：ふ化後35日稚魚(平均フォーク長3.3cm)の斑紋は、イシダイとほとんど区別できない程良く似た横縞をもつ個体が46%、横縞に変異をもつ個体が54%みられたが、その変異はI·B₁より小さく、また横縞間の斑点もほとんど認められない(Fig.77)。I·B₂の横縞は、雄ではイシダイと同じく成長に伴って不明瞭になるが、雌では満4年経過しても比較的明瞭に残る。このように、I·B₂の横縞はイシダイに近似する。体形はI·B₁に良く似ており、イシダイとイシガキダイの中間形を示す。

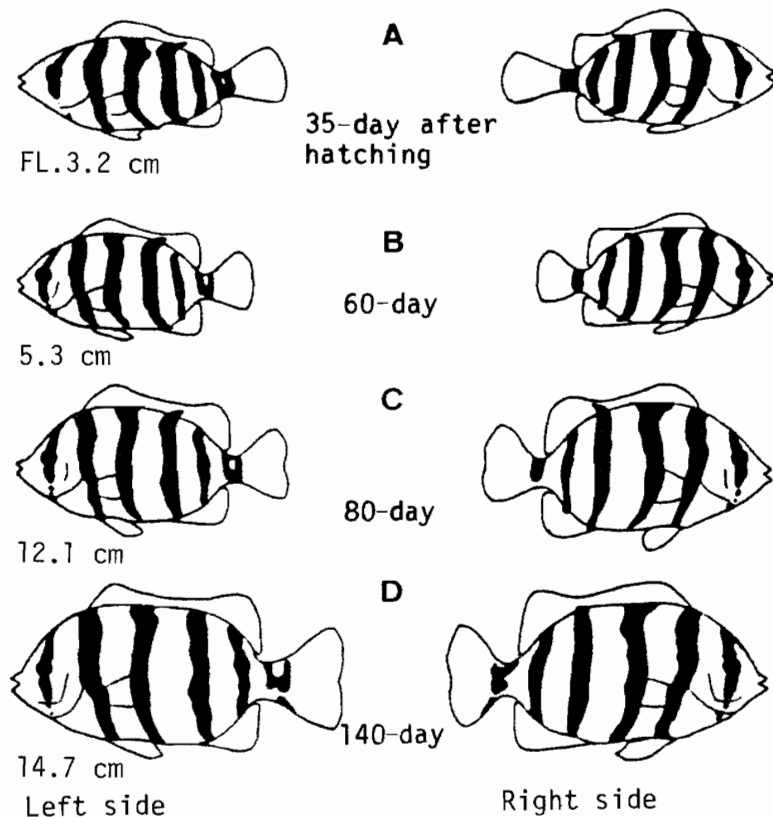


Fig. 77 Changes in coloring of I·B₂
(I·B₁ × J.p.f) with growth.

6. 5 交雑種の形態と成長比較

以上述べたイシダイとイシガキダイの5交雑種について、形態及び成長などを比較し、養殖品種としての評価を行った。

Table 24 Egg-diameter and length of newly hatched larvae of Japanese parrot fish, spotted parrot fish and their crossbreeds.

Species and crossbreeds.	Egg-diameter(mm)		Total length of newly hatched larva (mm)		Date
	Range	(Mean)	Range	(Mean)	
I	0.77—0.98	(0.87)	2.15—2.26	(2.20)	May 1978
G	1.00—1.11	(1.07)	2.60—2.91	(2.86)	〃
F ₁	0.86—0.99	(0.92)	2.30—2.38	(2.33)	Jun. 1970
G·B ₁	0.91—0.97	(0.95)	2.33—2.75	(2.42)	Jun. 1974
G·B ₂	0.94—1.04	(0.99)	2.38—2.78	(2.60)	Jun. 1978
I·B ₁	0.94—0.99	(0.97)	2.16—2.34	(2.28)	Jun. 1974
I·B ₂	0.86—0.93	(0.89)	2.00—2.21	(2.09)	Jun. 1976

卵及びふ化仔魚の大きさ：イシダイ、イシガキダイ及び5交雑種の卵とふ化仔魚の大きさを比較した(Table 24)。その結果、卵径の大きい順に、G(イシガキダイ)、G・B₂、I・B₁、G・B₁、F₁、I・B₂、I(イシダイ)となり、交雑種はおおむねイシガキダイとイシダイの中間の大きさである。これら卵からのふ化仔魚の大きさはG、G・B₂、G・B₁、F₁、I・B₁、I、I・B₂の順に大きく、交雑種はイシガキダイとイシダイのほぼ中間を示すが、イシガキダイの形質の強いG・B₂、G・B₁が大きく、イシダイの形質の強いI・B₁、I・B₂は共に小さい傾向にある。

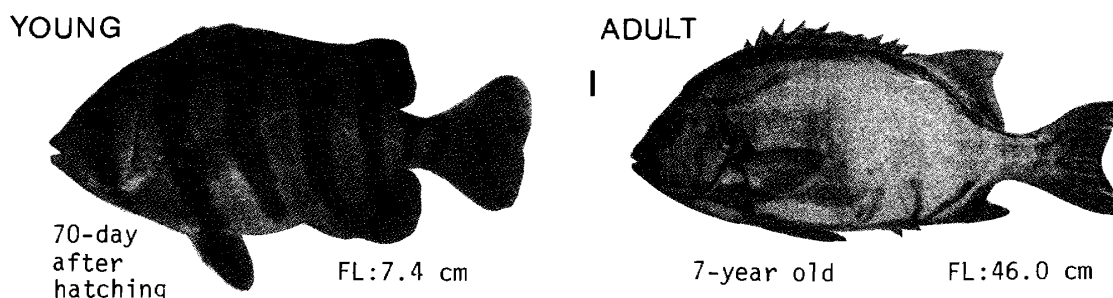
受精率、ふ化率及び生残率：イシダイ、イシガキダイ及び5交雑種について、人工受精による受精率、ふ化率及びふ化後100～150日までの生残率について比較した(Table 25)。この結果、受精率はG・B₁、I、I・B₁、F₁、I・B₂、G・B₂、Gの順に高く、交雑種のうちF₁、I・B₁及びI・B₂はほとんど差がない。ふ化率ではI、G・B₁、I・B₂、I・B₁、F₁、G・B₂及びGの順に高く、交雑種のうちI・B₁、I・B₂及びG・B₁は差が小さい。しかし生残率ではF₁、I・B₁、I、I・B₂、G・B₁、G・B₂の順で、Gは極めて低い。以上からF₁及びイシダイの形質の強いI・B₁、I・B₂は、イシガキダイの形質の強いG・B₁、G・B₂より生残率が高い傾向がある。

Table 25 Rate of fertilization, hatching and survival in Japanese parrot fish, spotted parrot fish and 5 crossbreeds.

Species and crossbreeds.	Fertilization (%)	Hatch (%)	Survival (%)
I	59.0	56.3	7.5 (150)*
G	38.4	21.4	0.034 (150)
F ₁	55.4	35.5	8.8 (150)
G・B ₁	63.5	52.1	2.8 (100)
G・B ₂	38.5	21.4	1.9 (100)
I・B ₁	55.6	48.4	7.7 (140)
I・B ₂	55.0	51.2	2.8 (100)

* Time in days after hatching when survival rate was determined.

斑紋及び体形的特徴：イシダイ、イシガキダイ及び5交雑種の斑紋をふ化後70日若魚と成魚を用いて比較した(Fig. 78)。



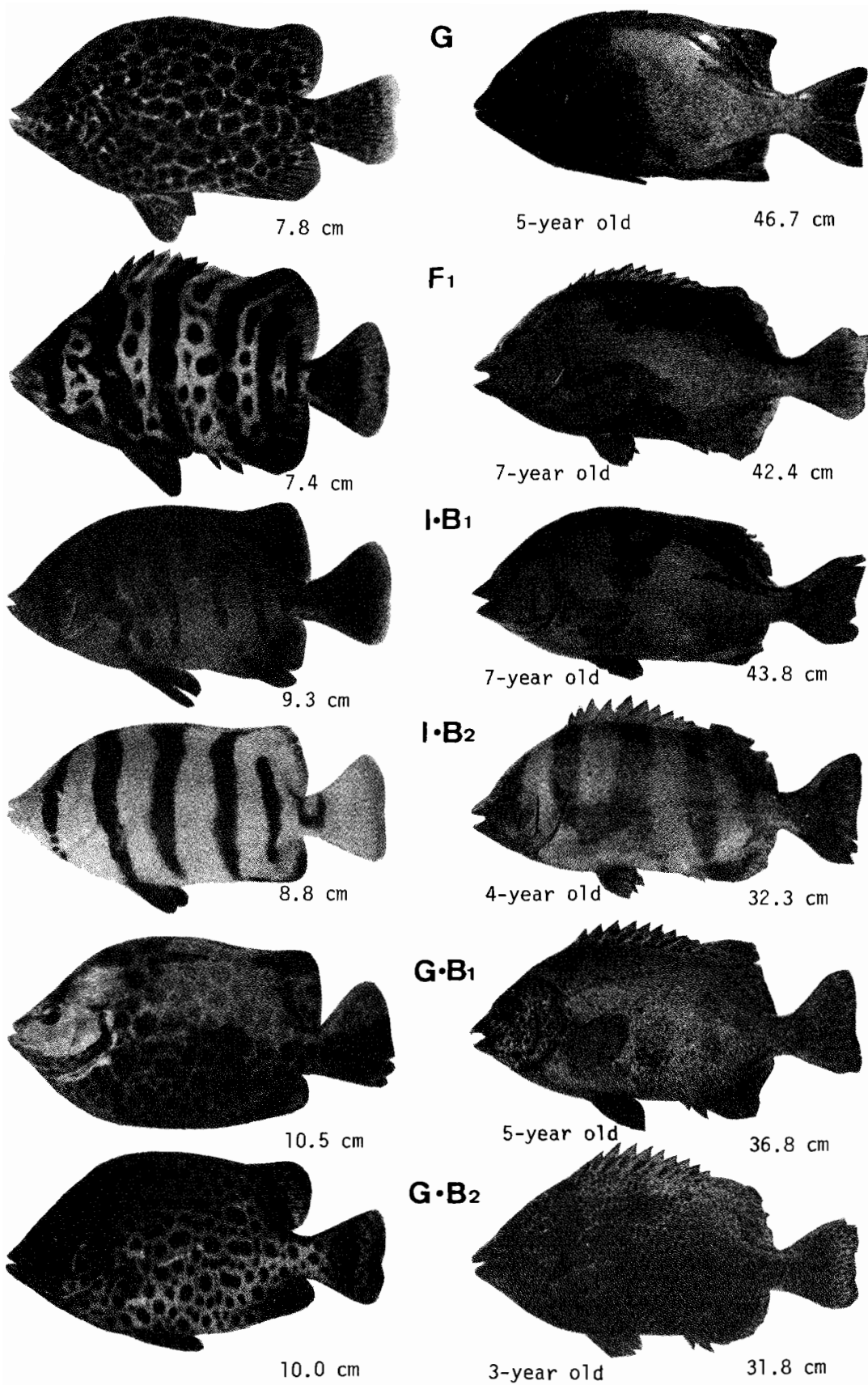


Fig. 78 Young and adult of Japanese parrot fish, spotted parrot fish and 5 crossbreeds.

これによると、 F_1 の斑紋はイシダイとイシガキダイの中間形を示す。

これにイシダイを戻し交雑すると、イシダイの横縞に似た斑紋が生じ、戻し交雑第2代の $I \cdot B_2$ では46%がイシダイとほとんど区別できない程の横縞が生じる。また F_1 にイシガキダイを戻し交雑すると、イシガキダイの斑点模様が生じ、戻し交雑第2代の $G \cdot B_2$ では、そのほとんどにイシガキダイに近似の斑紋を示すようになる。なお交雑種の斑紋は一般に生後満1年以上で次第に不明瞭になり、やがて消える傾向があるが、 $I \cdot B_2$ の雌及び $G \cdot B_2$ は生後満3年でも比較的明瞭に残る。次にこれら2種5交雑種について、フォーク長0.9~18.3cmの比体高を用いて体形を比較した(Fig. 79)。その結果、比体高の大きい順に $G \cdot B_2$, G , $G \cdot B_1$, F_1 , $I \cdot B_2$, I , $I \cdot B_1$ となり、交雑種のうちイシガキダイの形質の強い $G \cdot B_2$ 及び $G \cdot B_1$ と、イシダイの形質の強い $I \cdot B_2$ 及び $I \cdot B_1$ とは明瞭に区分され、 F_1 はその中間形である。

成長：イシダイ、イシガキダイ及び5交雑種について、3~4年間の飼育を行ってその成長を比較した(Table 26)。この結果、満3.5年までの成長は、 F_1 , $G \cdot B_1$, G , $I \cdot B_1$, I , $I \cdot B_2$, $G \cdot B_2$ の順に良く、 F_1 及び $G \cdot B_1$ はイシガキダイより良かったが、 $G \cdot B_2$ の成長は予想に反して悪かった。

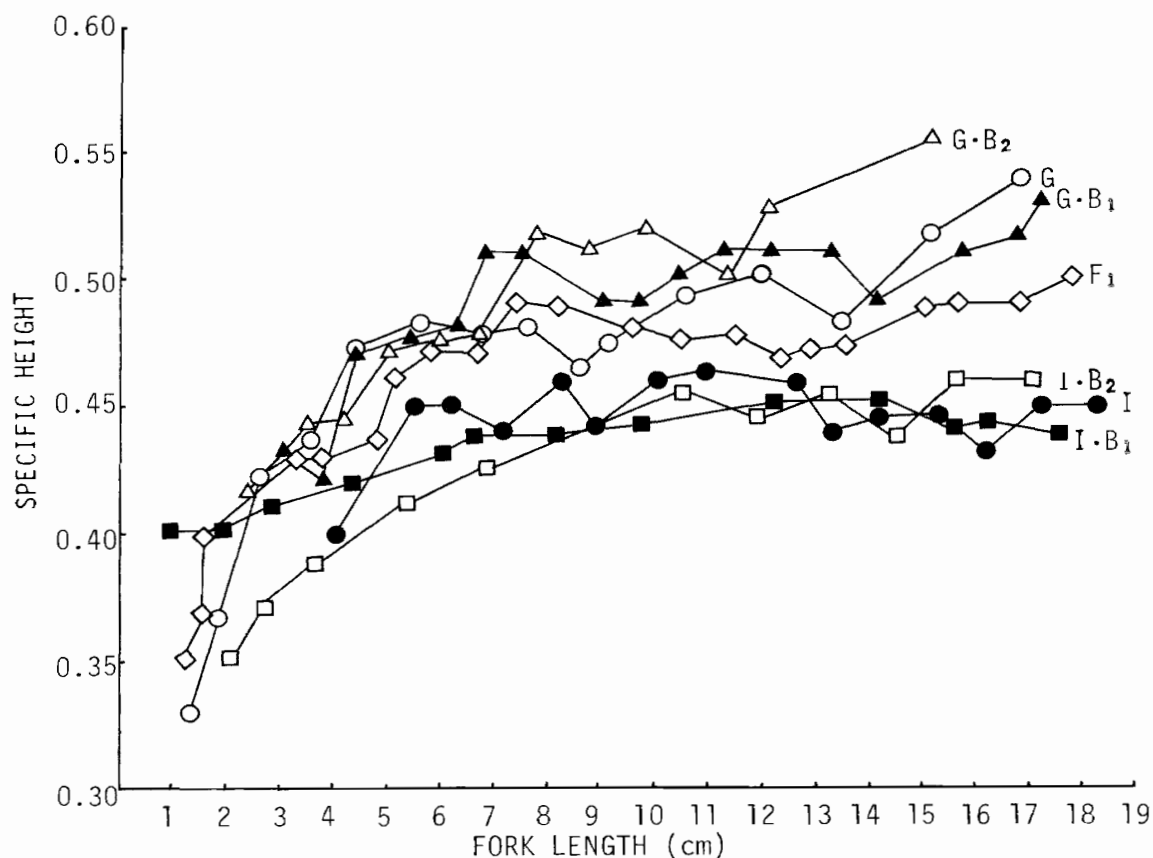


Fig. 79 Differences in specific height (BH/FL) among 2 species and 5 crossbreeds.

Table 26 Growth of Japanese parrot fish, spotted parrot fish and 5 crossbreeds.

Species and crossbreeds	1.5-year		2.5-year		3.5-year		4.5-year		Birth of year
	Fork length (cm)	Body weight (g)	Fork length (cm)	Body weight (g)	Fork length (cm)	Body weight (g)	Fork length (cm)	Body weight (g)	
I	24.7	425.0	28.6	660.0	31.2	810.0	33.9	950.0	1974
G	30.0	720.0	31.3	847.0	33.8	1,040.0	—	—	1978
F ₁	29.1	731.0	32.1	930.0	35.6	1,310.0	38.5	1,550.0	1970
G·B ₁	28.0	680.0	31.1	890.0	32.8	1,070.0	35.2	1,350.0	1974
G·B ₂	21.0	240.0	24.2	363.0	27.1	553.0	—	—	1978
I·B ₁	25.8	490.0	30.3	750.0	32.6	945.0	36.6	1,340.0	1974
I·B ₂	19.2	170.0	25.4	400.0	28.3	560.0	28.7	725.0	1976

さらに満4.5年目には、交雑種のうちF₁の成長が最も良く、これに次いでG・B₁及びI・B₁も良い。

成熟：イシダイ、イシガキダイ及び5交雑種を飼育して、成熟を確認した年齢を比較した(Table 27)。この結果によると、イシダイでは雌が満2年、雄は満1年、イシガキダイでは、雌が満

Table 27 Age of maturation in Japanese parrot fish, spotted parrot fish and 5 crossbreeds.

Species and crossbreeds		Age of maturation
I	♀	2
	♂	1
G	♀	8
	♂	6
F ₁	♀	2
	♂	2
I・B ₁	♀	2
	♂	2
I・B ₂	♀	4
	♂	4
G・B ₁	♀	4
	♂	6
G・B ₂	♀	—
	♂	—

8 年，雄は満 6 年でそれぞれ成熟する。交雑種について， F_1 及び $I \cdot B_1$ は雌雄共に満 2 年で一部成熟し，大部分は満 3 年で成熟する。 $I \cdot B_2$ は雌雄共に満 4 年で成熟する。 $G \cdot B_1$ は雌が満 4 年で，雄は満 6 年で一部成熟するが， $G \cdot B_2$ は満 4 年では両性共，成熟の徴候はみられない。以上のように交雑種は，成熟年齢に差異はあるが， $G \cdot B_2$ を除いて雌雄共，成熟することが明らかとなった。これらのうち， F_1 及び $I \cdot B_1$ の成熟年齢は 2 年で，比較的早く，旺盛な生殖活動も認められるので産卵用親魚としての利点がある。

5 交雑種の養殖品種としての評価：以上イシダイとイシガキダイを交雑して F_1 をつくり，これにそれぞれイシダイ，イシガキダイを戻し交雑して第 2 代までの 5 交雑種をつくった。これらのうち，特に F_1 ， $I \cdot B_1$ は交雑が容易で生残率も高く，成長も優れており，養殖品種として優れた条件を備えていることが明らかとなった。

第6章 イシダイの増養殖

イシダイの種苗生産から増養殖管理に至る一連の過程を集約的に示し、第1～第5章で述べたイシダイの養殖生物学的研究と筆者の養殖試験の成果に基づいて、健全な増養殖用種苗50万尾を確保するに当たっての種苗生産方式及びその養成方法について検討を加える(Fig.80)。

第1節 種 苗 の 量 産

イシダイの種苗は養殖に用いられる他、特に最近、海洋牧場など資源培養型漁業における放流用種苗として岩礁性魚類の重要種にあげられている。

イシダイの採卵には従来、天然及び養成親魚が用いられてきたが、天然成熟魚は量的確保が不安定で個体により成熟時期にかなりの変化がみられるという欠点がある。しかし養成親魚は一斉成熟すると共に、産卵水槽内で容易に自然産卵し、受精率など採卵効率も良いという長所がある。このため健全卵を計画的に量的採卵するには養成親魚を用い、水槽内で自然産卵させることができる。なお雄はフォーク長20cm前後に達すると横縞が消え始めるが、雌はこのような変化がないことから雌雄の判別ができる。しかし群成熟度から親魚として使用できるのは雄は満2才以上、雌は満3才以上であるが、1回の産卵量からみて満4～5才の大型魚(体重1～2kg)が適当である。

イシダイは4月頃から急に成熟し始め、5月、水温が20℃以上になると産卵が始まり、7月中旬頃、28℃になるとほぼ終り、産卵期は南ほど早い。また本種は多回産卵魚で紀南地方を基準にすれば5～7月の産卵期間中に1尾が30回前後の産卵を行う。このうち産卵盛期は6月上・中旬であり、体重1kg(フォーク長33～35cm)の雌1尾から1日に約20万粒の産卵が見込まれる(Fig.22)。産卵は日没を中心に夕刻行われ、浮遊卵を産卵槽の上部排水口で集卵することができる。産卵槽の大きさは親魚数(雌雄合せて3kg/m²が適正尾数)や産卵行動などを考慮し、さらに集卵には体験上、海水の交換を6時間で全量が換水できるように50トン(水深1m)程度が適している。この中に1kgの雌親魚を100尾、雄親魚を50尾収容できる。これらの親魚から盛期には、1日に20万粒×100尾=2,000万粒の採卵が可能で、この卵は90%以上が健全卵と推定されるので2,000万粒×0.90=1,800万粒の健全卵が確保できる。ここで5cmサイズの種苗生産の目標数50万尾を得るに当たっての健全卵数及び正常ふ化仔魚数を計算すると、まずふ化仔魚から全長5cm前後の種苗サイズまでの生残率を後述するように3.5%とすれば、正常ふ化仔魚1,430万尾を必要とし、さらに健全卵から正常ふ化仔魚を得る割合は80%であるので、1,430万尾× $\frac{100}{80}$ =1,787.5万粒の健全卵を必要とする。したがって健全卵の必要数を確保するには、先に述べた親魚150尾(雌100尾：雄50尾)を収容した50トン水槽1基を設置すれば良い。

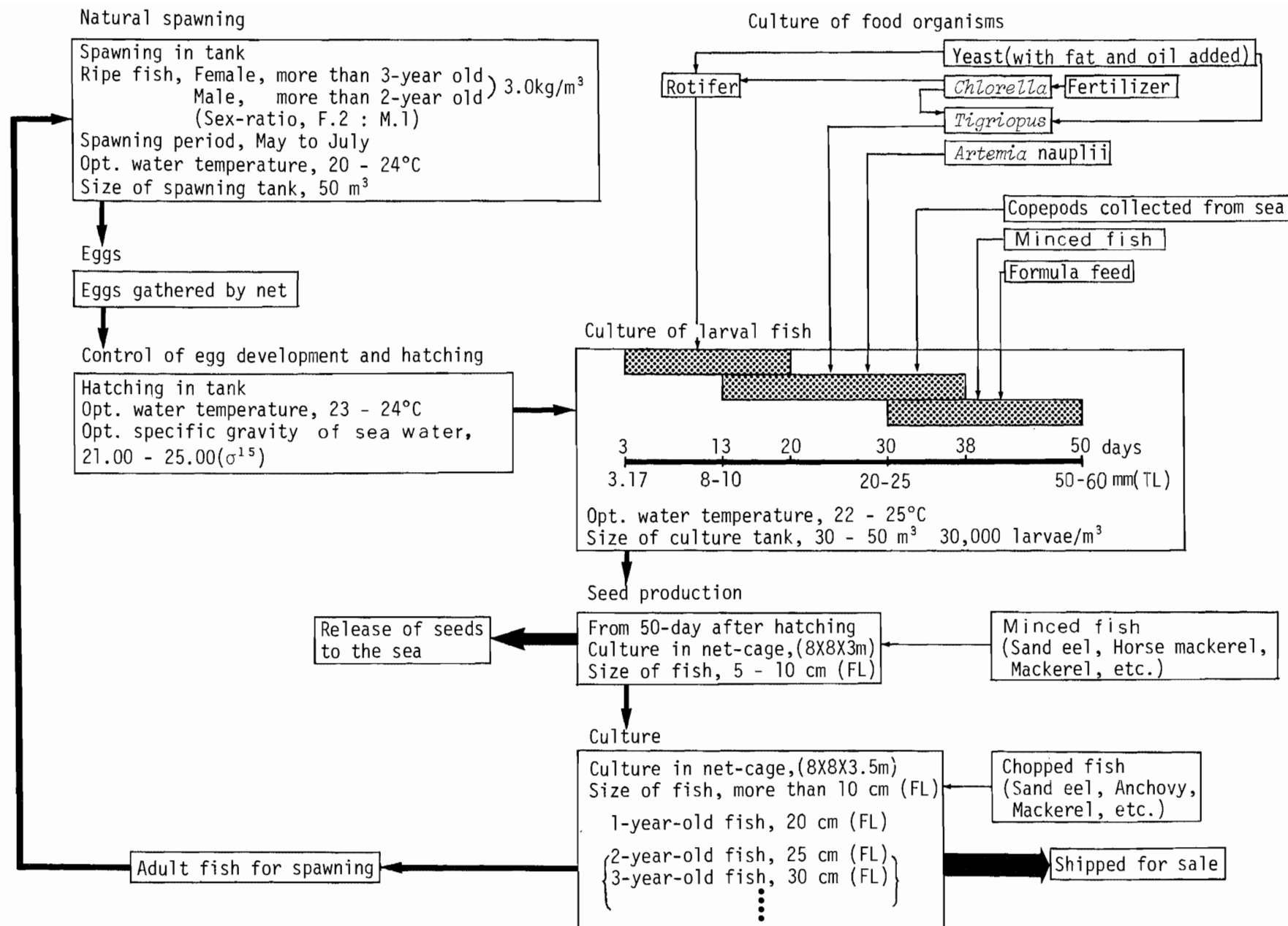


Fig. 80 Culture diagram of Japanese parrot fish.

卵の管理：受精卵の管理は、ろ過海水のふ化水槽で止水式とし、卵が均等に分散する程度（約75 ml/min.）のエアレーションを行う。卵の収容密度は筆者の養殖体験に基づく試算から10万粒/m³が適当と思われ、水温は発生経過からみてふ化適水温の23～24℃に、海水比重を21.00（ σ^{15} ）以上の好適環境にそれぞれ保ち、沈下卵を除去して管理すれば21～40時間後に80%以上の正常仔魚がふ化する。したがって前記1,787.5万粒の健全卵を50トンふ化水槽3基と30トンふ化水槽1基に収容すれば、合計1,430万尾のふ化仔魚が確保できると試算される。

飼育管理：ふ化仔魚から5 cmの種苗サイズまでの飼育には、ひき続きふ化水槽を使用しても良いが、その大きさは生物餌料の供給や毎日の管理上から30～50トン程度とし、仔魚の収容密度を3万尾/m³とするのが適当である。したがって前記1,430万尾のふ化魚の飼育には50トン水槽9基と30トン水槽1基を必要とする。

全長2.0～3.2mmの前期仔魚は、ほとんど遊泳しないので、弱いエアレーションを行い、止水で飼育するがこの期の仔魚はまだ摂餌をしない。全長3.2～10.0mmの後期仔魚は、おおむねふ化後3日目（水温20～23℃）に達すると摂餌が始まる。最初の餌料としてクロレラ海水中のワムシを投餌するが、クロレラは水質の安定化とワムシの餌料として有効である。当初のワムシ密度は、10～15個体/mlを保ち遊泳力の乏しい仔魚が餌料生物のワムシに充分遭遇して摂餌し易いようにする。その後遊泳力の生じた仔魚は積極的に摂餌するので5個体/ml程度とする。全長約6 mmまでの仔魚の摂餌活動は夜明けと共に活発になり、日中は摂餌を続け、夕暮れ暗くなると共に停止するので、摂餌期間の日中は5個体/mlのワムシ密度を充分保つ必要がある。全長約8 mmの仔魚になると、ワムシより大型の生物餌料を摂餌するようになり、摂餌活動は、充分摂餌し飽食に達すると停止し、胃内容物が消化吸収されて空胃になると再び摂餌活動が活発となり、1日3回の摂餌活動の時間帯が認められる。ひき続き全長約35mmまでカイアシ類を投餌する。カイアシ類の量的確保は夜間灯下に集まるものをポンプ採集する (Fig.81)。しかし多量採集が比較的困難であり、場合によっ

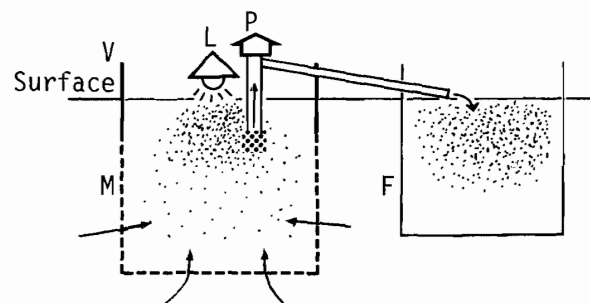
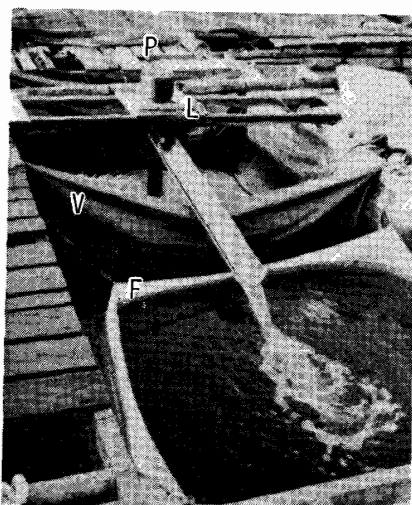


Fig. 81 Device for collecting copepods.
P, pump; L, lamp; V, vinyl sheet; M, mosquito net; F, fine-meshed net.

ではブラインシュリンプ及びマダイ稚仔用配合餌料を用いても良い。この時期の仔魚は流れに沿って群をなし、摂餌活動も活発となるので、カイアシ類の投餌と同時に流水式（換水率、 $\frac{1}{2}$ 回転/24時間）とし、エアレーションを行いつつ水温を22～25℃に保つのが好ましい。

全長2 cmを越え、イシダイに特徴的な7条の横縞が完成した稚魚は活発に遊泳し、魚介類ミンチ肉を摂餌するようになる。このため生物餌料から配合餌料への転換をはかるのが良い。ミンチ魚肉投餌の際は飼育水が濁り、水質悪化を招くのでミンチ魚肉を粘結剤で固形化し、サランネット枠に塗布して食べさせる方法を用いて、残餌を減らしかつ飼育水の濁りを防ぐことが必要である。その後は稚魚の成長に伴って、さらに摂餌量も多くなり、飼育水槽の環境も悪化し、成長にも影響を及ぼすようになるので全長約5 cmで環境の良い海面生簀に移すいわゆる「沖出し」を行い、成長を促進させるのが適当である。

このようなイシダイの後期仔魚期から沖出しサイズの稚魚期までの飼育過程における餌料系列は、ワムシ（ワムシを含むクロレラ海水、ふ化後3日から20日まで）—天然カイアシ類（ふ化後13日から38日まで）—魚介類ミンチ（ふ化後30日から）となる。なお餌料の転換期には両餌料の併用期間をおくことによって摂餌の転換が円滑に行われるようにする。以上の方式を用いれば、イシダイはふ化後10日で約6 mm、30日で約2.5 cm、50日で約6 cmに成長する（Fig. 52）。次に前期仔魚期から種苗サイズまでの減耗率の推移を求めた（Fig. 82）。その結果、前期仔魚期にはほとんど

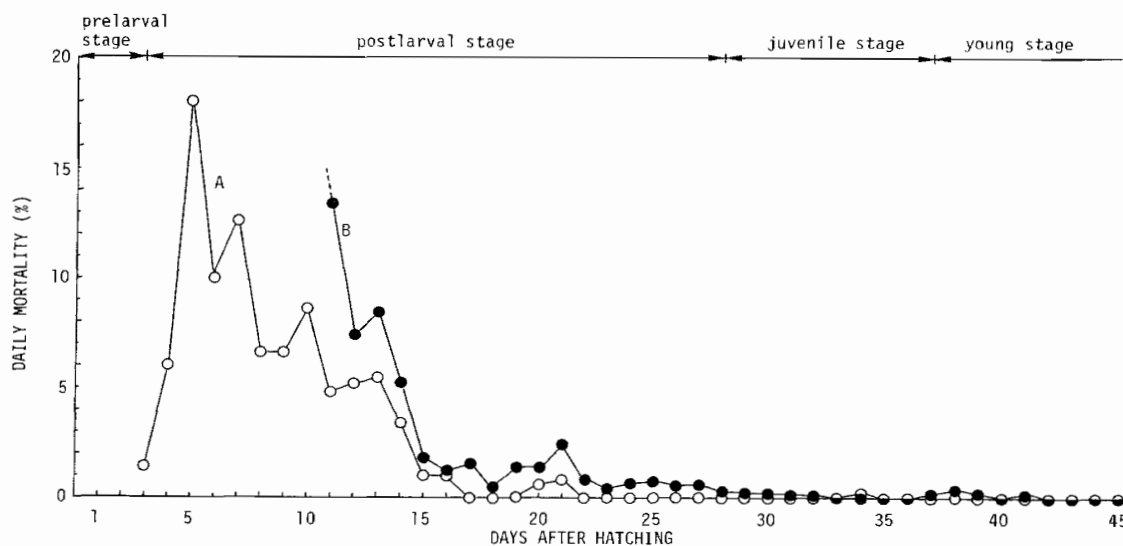


Fig. 82 Two examples of daily changes of mortality of early-stage fish. A, May 1971; B, June 1971.

減耗が認められないものの、後期仔魚期に入り、餌つけが始まるとへい死率が高くなり、特にふ化後5～7日（摂餌開始後3～5日）の3日間に全体の40%ものへい死が認められる。次いで横縞が出現して稚魚期に移行する前、すなわちふ化後20日前後にもやや高いへい死率がみられる。

その後は大きな減耗はみられなくなる。その生残率について1971～'72年に行った10回の飼育例によれば、ふ化仔魚から若魚期までのそれは、1.10～8.97%，平均3.51%であった(Table 28)。したがって前記1,430万尾のふ化仔魚から全長約5 cmサイズの稚魚が $1,430\text{万尾} \times 0.035 \div 50\text{万尾}$ 生産が見込まれる計算となる。

Table 28 Survival of early-stage fish.

Date of hatching	No. of newly-hatched larvae (used)	Number of survived	(%)
May 9, 1971	15,680	1,406 (40)*	8.97
13	17,500	580 (40)	3.31
28	21,000	236 (32)	1.12
28	21,000	581 (47)	2.77
Jun. 1	31,500	345 (43)	1.10
May 9, 1972	15,400	661 (55)	4.29
24	20,100	372 (67)	1.85
Jun. 11	14,050	624 (50)	4.44
17	7,350	185 (45)	2.52
17	7,350	348 (45)	4.73
			Av. 3.51

* Time in days after hatching when survival rate was determined.

5 cmサイズの稚魚を陸上施設から沖出しするに当たり、その海上における収容施設が必要である。その施設としては、普通用いられている8×8×水深3 m、目合18節の生簀網が適当で、筆者の養成事例から収容適正密度は300尾/m²であるので、この中へ約60,000尾収容できる。このサイズのミンチ肉餌料はチアミナーゼを含むイワシ、サンマなどは避けて、イカナゴ、サバなど鮮度の良い生鮮または冷凍魚を選ぶ。その際、健全な種苗をつくる目的のためには総合ビタミン、強肝剤などの栄養剤を規定量加える必要がある。1日の投餌量は、魚体重の30～40%を目標に4～5回に分け、餌が全体にいきわたるよう留意しながら投餌する。以上の方式をとればイシダイは10日間でフォーク長約8 cm、30日でフォーク長約10 cmに成長する。このサイズに達したイシダイは以後は減耗が少なくなるので養殖用種苗として充分用いることができる。一方、これを放流

用種苗とすれば、自然減耗も極めて少なく自然環境に馴致しながら、磯魚として定着して放流効果が充分期待できる。

第2節 養 成

イシダイの養殖実験は、フォーク長10cmに成長した人工種苗を用い、1970年8月より1973年8月まで3年間にわたり行った。養成施設はポリエチレンを素材とし、網の目合を14節、網の大きさを8×8×水深3.5mとした生簀網を用いたが、その後は成長に応じて網目を10節から最終6節を用いるのが適当である。収容尾数は最初8,000尾（約36尾/m²）とし、その後成長に応じて分養し、最終的には体重約500gに成長した1972年8月に3,000尾（約13尾/m²）とした。養殖一般環境について、水温は水面下1mの最高、最低水温を1ヶ月ごとに纏めた（Fig. 83）。その結果、最高は1970年8月及び1971年8月の28.2℃で、最低は1971年2月の11.2℃である。海水比重は、1972年5月の10.33（ σ^{15} ）が最低で、溶存酸素量は1970年10月の3.18ml/lが最低であり、イシダイの養殖環境としてはいずれも問題はない。投餌は通常1日2回行い、12月～翌年4月までの低水温期には1日1回または隔日1回とし、それぞれほぼ飽食になるように与えた。餌料はすべて生鮮または冷凍魚で、マイワシ、イカナゴ、サバ、サンマ、ホッケの5種を用いたが入手が容易で安価のマイワシが約80%を占めた（Table 29）。当才魚の日間摂餌率（注意深く投餌し、投餌量÷摂餌量とみなした）は最高22.4%と高く、成長に伴い1才魚で最高6.1%、2才魚で3.9%と低くなる傾向を示すが、冬季は水温の低下により0.2～1%と極めて低率である。すでに述べたようにイシダイが増重する水温は約18℃以上にあることを反映して夏季の高水温時、特に水温25～28℃では良く増重し、冬季低水温時には成長が停滞する（Fig. 83）。3年間の養殖で平均フォーク長28.3cm、

Table 29 Amount and composition of food given during 4-year culture period.

Period	Anchovy		Sand eel		Mackerel		Sauly		Atka mackerel	
	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
Aug. -Dec, 1970	2,347.5	76.47	546.5	17.80	120.0	3.91	—	—	56.0	1.82
Jan. -Dec, 1971	11,534.0	71.72	2,630.0	16.35	1,899.6	11.81	—	—	18.5	0.12
Jan. -Dec, 1972	15,516.0	85.34	2,295.6	12.63	112.7	0.62	256.8	1.41	—	—
Jan. -Aug, 1973	7,558.0	90.51	792.0	9.49	—	—	—	—	—	—
Total	36,955.5	80.90	6,264.1	13.71	2,132.3	4.67	256.8	0.56	74.5	0.16

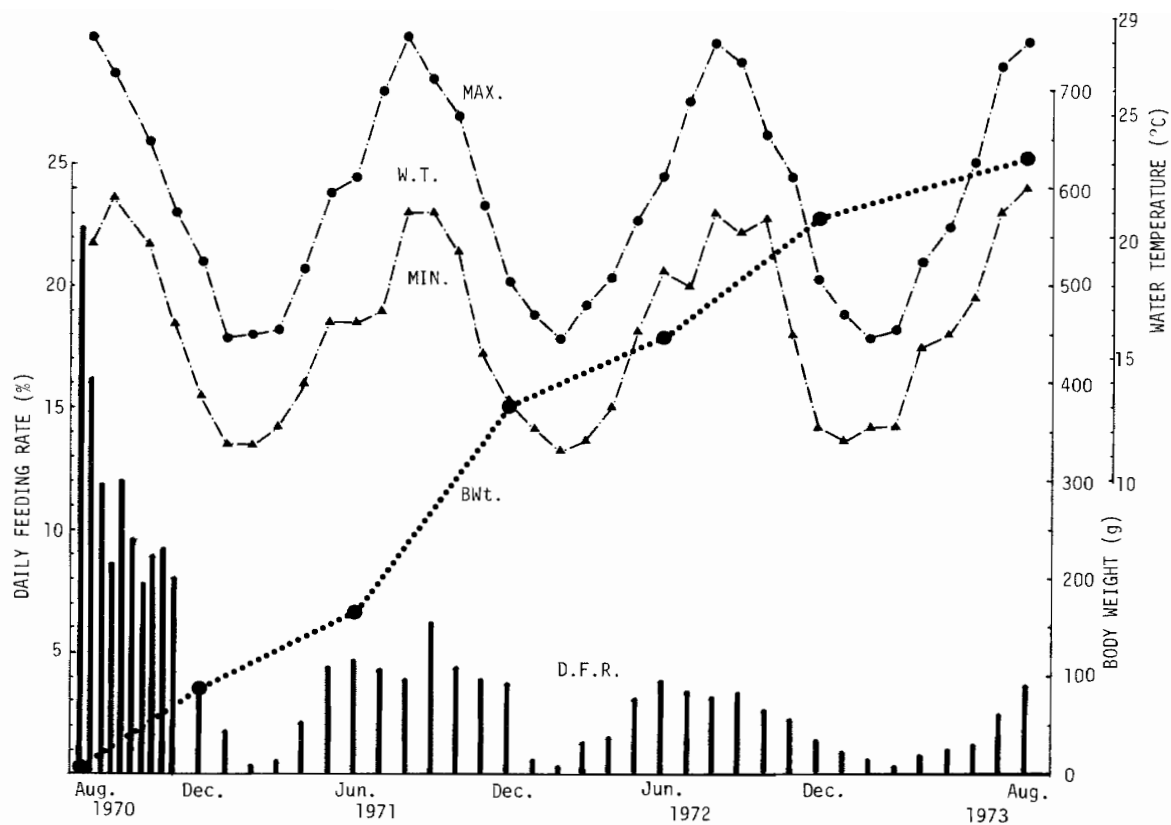


Fig. 83 Growth of Japanese parrot fish(young to adult) with indications of seasonal variations in daily feeding rate and water temperature.

平均体重630gに成長し、この時の最大個体はフォーク長33.2cm、体重950gで平均体重以上の個体は商品サイズに達する。増肉係数(総投餌量/増肉量)は1ヶ月ごとの計算から最も成績の良い月は2.2で、冬季は変動が大きく、3年間通算で14.7となった。減耗は3年間で254尾、4.7%と極めて低かったが、毎年5～8月の夏季に多く、この原因は主として *Benedenia* sp. の被害によるものである。

以上イシダイの養成実験によると、ハマチやマダイに比較して成長が遅く、商品サイズに達するまでに3年を要することが養殖品種としての最大の課題である。このため次にイシダイが最大の成長をもたらすための養成条件及び成長改善策について検討した。

イシダイの棲息環境条件について第4章、第1節で述べたように、水温7℃以下及び33℃以上では生存できず、比較的良く摂餌し増重がみられる水温は18℃以上である。また養成実験の結果、成長適水温は25～28℃の範囲にある。このことからイシダイ養殖場における年間水温は10～30℃の範囲で、特に成長適水温の25～28℃が長期間維持できるところが適当である。海水比重は5.00(σ^{15})以上で、特に20.00(σ^{15})以上にあることが望ましい。さらに溶存酸素量の欠乏に対する耐性はハマチ、マダイなどより強く、溶存酸素の最低必要量は1 ml/lとみられるが、養殖事例からみて一般的には4 ml/l以上が望ましい。また1980年7月に *Gymnodinium* 1965 赤潮に遭遇し

た際、ハマチ、マダイは多量にへい死したがイシダイは生き残ったことから、赤潮に対する耐性も強い。以上からイシダイは比較的広温、広塩性であり、養殖場の適水域は広くハマチ、マダイなどの養殖適水域であればどこでも養殖できる利点があるが、適水温が両種よりやや高い傾向にあるので、なるべく成長適水温が長期にわたり維持できる温暖水域がより適切である。

次に養成施設について、一般の生簀網の素材は合成繊維が普通であるが、網が汚染され、特にフジツボ、カキなどが付着するとイシダイは強靱な歯でそれらを好んで食べ、同時に網を破る事例がみられた。このため筆者は金網生簀を試用したところ、海水の交換など環境が改善され、成長も良好で、しかも網交換不要で省力化がはかれるなど好成績が得られた。しかし素材の垂鉛メッキ鉄線は耐用年数が1.5～2年と短かく、イシダイの養殖年数の満3年に満たないため、筆者は金網に塩化ビニール被覆をした生簀網を用いたところ、耐用年数も最低5年に延長された。この被覆金網生簀にはホヤ類、フジツボ類、カキ、イガイ及びアナアオサなどの藻類の着生が著しいが、イシダイはこれらを好んで摂食し、しかも網に損傷がなく金網は常に掃除されると共に生活環境が適正に保たれ、同時に餌料供給にもなる利点があり、イシダイ養殖には金網生簀は通常の合成繊維生簀より好ましい(Fig.84)。

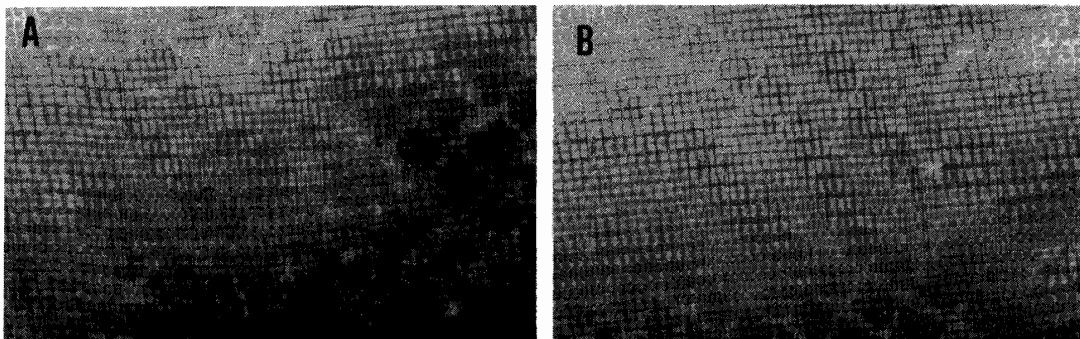


Fig. 84 Underwater photographs of a part of wire netting cages for yellowtail culture. Showing A, cage heavily fouled with attached animals and algae and B, the same cage 1 month after introduction of some Japanese parrot fish.

投与する餌料については、イシダイ特有の歯系や釣餌などを参考に餌料の種類及びその餌料効果について実験を行った。餌料として魚肉(マアジ、イカナゴ)、配合餌料(練餌、ペレット)、貝肉(ムラサキイガイ)を用い飼育試験を行った結果、イシダイの増重には魚肉が適していることがわかったので、次に第4章、第2節、2項で述べたように種々の魚肉を用いて飼育試験を行った。その結果、増肉、餌料効率共に良いイカナゴ、サバがイシダイの養殖用餌料として優れ、カタクチイワシ、アジなども良いことが明らかになったので現時点でのイシダイ養殖用餌料としてイカ

Table 30 Composition of test feed for determining the protein requirement of Japanese parrot fish.

Composition	Experimental group				
	1	2	3	4	5
White fish meal	30.0%	42.5%	55.0%	67.5%	80.0%
Dextrin	55.0	42.5	30.0	17.5	5.0
α -potato starch	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Cellulose powder	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Vitamin mixture*	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Mineral mixture**	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Crude protein(%)	21.5	30.2	38.9	47.6	56.3

* Halver vitamin mixture(1957)

** MacCollums salt No.185

ナゴ、サバを主として用いるのが適当である。

またイシダイ用配合餌料の研究として、イシダイのたん白質要求量について実験した。たん白源として北洋魚粉を用い、たん白含量の異なる試験区を設けた(Table 30)。実験は0.5トンパンライト水槽5個に平均体重23gのイシダイ各30尾を収容し、流水でエアレーションしながら9月7日より11月2日まで、8週間飼育を行った。餌料は練り餌とし、たん白含量の最も高い餌料区の飽食量を基準とし、これを他の餌料区の投餌量とした。餌料はいずれも1日2回投与した。飼育期間中の水温は21～26℃で、魚体測定は2週間ごとに行った。この結果、餌料たん白含量の増加が50%までは増重率及び体たん白蓄積量などは直線的に増加するが、それ以上ではたん白含量増加の効果は認められない(Fig.85; Table 31)。以上の結果、イシダイの成長に最も効率的な配合餌料のたん白含量は50%が適当であることが明らかになり、マダイ、ハマチのそれとさして相違ないことが認められた。

さらにイシダイの成長改善策として、他魚種との混養が有効であることが経験的に知られているのでこの事実を実験した。このため、シマアジ、マダイ及びハマチの養殖生簀にそれぞれイシダイを混養して、1971年9月21日から1ケ年間飼育実験を行った。実験に用いたイシダイは飼育1才魚(平均フォーク長22.4cm, 平均体重324.5g)で、これを7.2×7.2×水深3mの生簀網に飼

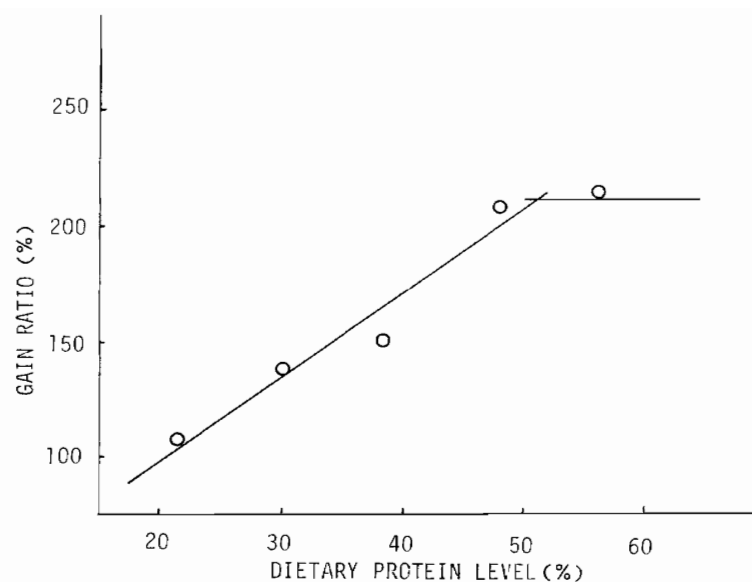


Fig. 85 Relation between dietary protein level and gain ratio.

Table 31 Response of Japanese parrot fish fed on diets at five protein levels for eight weeks.

Experimental group	1	2	3	4	5
Protein level (%)	21.6	30.4	38.3	47.9	56.6
Initial av. fork length (cm)	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
Initial av. body weight (g)	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3
Final av. fork length (cm)	12.3	12.7	13.2	14.0	13.9
Final av. body weight (g)	48.3	55.0	58.3	71.7	73.3
Total food consumed (g)	3,403.2	3,403.2	3,403.2	3,403.2	3,403.2
Mortality (%)	0	0	0	0	0
Total weight gained (g)	750.0	951.0	1,050.0	1,452.0	1,500.0
Gain ratio (%)	107.3	136.1	150.2	207.7	214.6
Feed efficiency (%)	22.0	27.9	30.9	42.7	44.1
Final condition factor	26.2	26.6	25.5	26.1	27.0

育中のシマアジ 2 才魚 (平均体重835g) 1,542尾 (総重量1,287.6kg), マダイ 1 才魚 (平均フォーク長25.0cm, 平均体重375g) 3,377尾 (総重量1,266.4kg) 及びハマチ当才魚 (平均フォーク長37.2 cm, 平均体重794g) 2,427尾 (総重量1,927.0kg) の各生簀網にそれぞれ100尾混養した。対照区の

Table 32 Growth of Japanese parrot fish cultured with and without other fishes.

Date	Mixed with											
	Japanese parrot fish			Striped jack			Yellow tail			Red sea bream		
	(cm)	(g)	(c.f)	(cm)	(g)	(c.f)	(cm)	(g)	(c.f)	(cm)	(g)	(c.f)
Sept. 21, 1971	22.4	324.5	28.8	22.4	324.5	28.8	22.4	324.5	28.8	22.4	324.5	28.8
Oct. 25	22.8	358.0	30.3	23.4	380.0	29.8	22.9	296.0	24.6	23.7	404.0	30.4
Nov. 21	23.6	390.0	29.6	24.5	408.0	27.9	22.7	294.0	25.1	24.8	424.0	27.8
Dec. 21	24.1	376.0	27.0	25.6	465.0	27.8	23.4	330.0	25.9	24.9	428.0	27.9
Jan. 21, 1972	24.6	405.0	27.1	25.9	478.0	27.6	23.2	314.0	25.2	24.7	422.0	28.0
Feb. 21	24.0	364.0	26.4	25.9	492.0	28.4	23.4	346.0	27.0	24.2	438.0	30.8
Mar. 21	24.0	346.0	24.9	26.0	522.0	29.7	24.1	344.0	24.7	25.1	424.0	26.9
Apr. 21	24.1	368.0	26.3	26.4	532.0	28.8	23.9	322.0	23.6	24.8	415.0	27.4
May 23	24.7	402.0	26.7	26.6	540.0	28.7	24.1	348.0	24.9	25.3	478.0	29.7
Jun. 20	25.1	448.0	28.4	27.0	565.0	28.7	25.4	403.3	24.7	26.0	520.0	29.5
Jul. 20	25.9	478.0	27.6	27.0	610.0	31.0	24.8	402.0	26.3	26.7	548.0	28.7
Aug. 19	25.5	466.0	28.1	27.8	619.0	29.0	25.1	412.0	26.2	27.0	568.0	29.0
Sept. 21	27.0	546.0	27.8	29.2	677.0	27.3	25.9	477.0	27.6	28.0	630.0	28.6

生簀網にはイシダイのみを3,812尾（総重量1,237.0kg）飼育した。餌料はシマアジ，マダイ，イシダイの各生簀にはカタクチイワシのみを投餌し，ハマチ生簀にはカタクチイワシ，サンマ，イカナゴを投餌した。魚体測定は1971年9月21日よりほぼ1ヶ月に1回行い，体重，フォーク長を測定し，肥満度を算出した（Table 32）。この結果，シマアジに混養したイシダイの成長が最も良く，次いでマダイ，イシダイ，ハマチの各生簀の順に成長が良く，1尾の平均重量で最大200gの体重差が生じた（Fig. 86）。シマアジやマダイは摂餌，遊泳など生態的にイシダイに良く似ており，競合して摂餌活動が高まるので成長が良いと思われる。これに対しハマチは摂餌活動が活発で，混養されたイシダイは摂餌の機会が少なく，これが成長格差を生じた原因と考えられる。次に混養イシダイの肥満度は成長に比例してシマアジ生簀，マダイ生簀が大きく，ハマチ生簀は小さい（Fig. 87）。以上の結果，イシダイが競合する魚種と混養すれば，単独養殖の場合より成長が改善

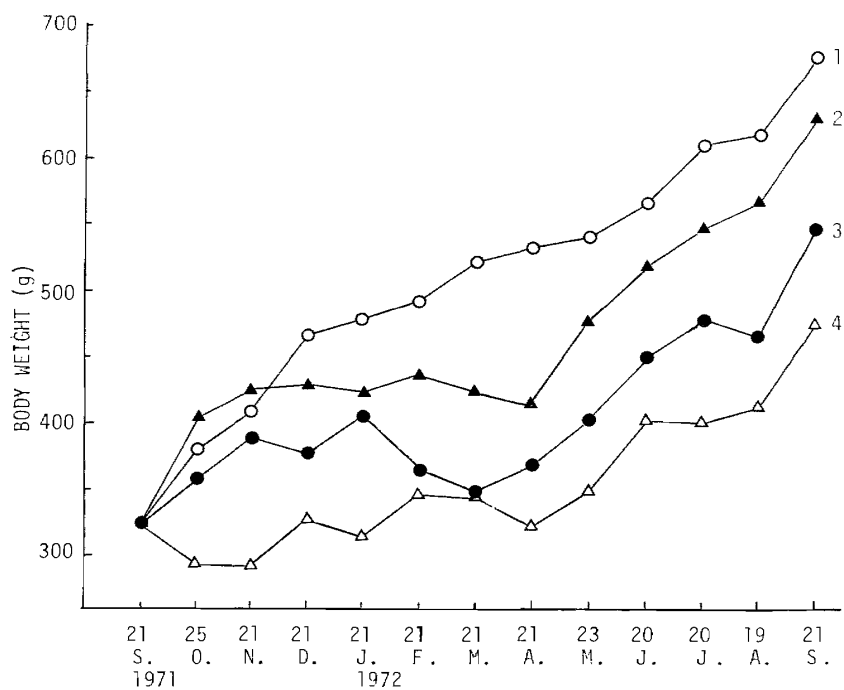


Fig. 86 Growth of Japanese parrot fish in mixed culture. 1, mixed with striped jack; 2, mixed with red sea bream; 3, Japanese parrot fish only; 4, mixed with yellowtail.

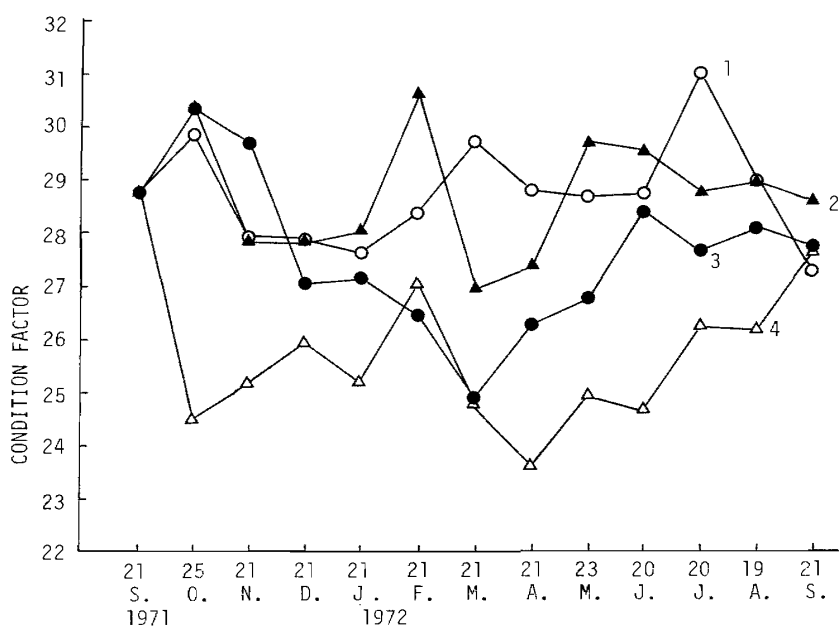


Fig. 87 Changes of condition factor of Japanese parrot fish in mixed culture. 1, mixed with striped jack; 2, mixed with red sea bream; 3, Japanese parrot fish only; 4, mixed with yellowtail.

されることが明らかとなった。しかしブリとの混養で混養率を高めた場合(尾数で40%),ブリの腹側に鋭い歯で噛みつき損傷を与えた事例があるため、その混養率を下げて10%にしたところ、このようなブリの損傷事例はみられなかったので、この間の適正混養率について検討する必要がある。

次に優良養殖品種の開発手段として、イシダイに近縁なイシガキダイとの交雑を試みた。実験は第5章、第2節で述べたように、イシダイの雌とイシガキダイの雄を交雑し F_1 をつくり、これにイシガキダイの雄を戻し交雑し、戻し交雑第1代、第2代までつくり、また同様に F_1 にイシダイの雄を戻し交雑し、戻し交雑第1代、第2代まで計5交雑種をつくった。これらのうち、 F_1 及びイシダイの戻し交雑第1代は交雑が容易で、生残率も高く、成長もイシダイより良好で養殖品種として優れた条件を備えることが明らかとなった。

以上要するに、養成親魚を用い水槽内で自然産卵を行えば、安定した量的採卵が極めて容易で、ふ化仔魚も計画通り確保できる。ふ化仔魚の飼育に当たっては、現在のところ生残率が平均3.51%とやや低いが、数10万尾単位の種苗生産が比較的容易である。この種苗を用いて生簀網方式で、イカナゴ、サバなどを餌料に養成すれば、3年間で商品サイズにまで養成することができる。しかしイシダイはハマチやマダイなどと比較して成長がやや遅いことが課題となっているため、養成に当たっては成長適水温がなるべく維持できる温暖水域を選定し、成長を促進させる必要がある。その他、成長改善策として競合するシマアジ、マダイなどとの混養及びイシガキダイとの交雑などの方策を見出したが、今後これらについて早急に実用化試験を行う必要がある。

また一方、人工種苗の放流を行えば、イシダイは磯魚として定着性が強いので、高い放流効果が期待でき、沿岸漁業の資源増殖策を考える上での先駆となるであろう。

要 約

イシダイの形態、成熟、発生及び成長など養殖生物学的基礎研究を行い、この知見に基づいてその増養殖の技術的方策について検討を加えた。

I 形 態

I-1) ふ化仔魚の発育段階別にその形態、生態変化を記載した。前期仔魚(ふ化後0～2日、全長2.1～3.02mm, Fig.1-1～5)は眼にグアノホアが沈着して銀色に輝き、口は大きく、両顎が発達する。仔魚は浮遊生活をするが、胸鰭が生ずると同時に正常位で泳ぐ。この期にはまだ摂餌しない。後期仔魚(ふ化後3～26日、全長3.17～8.67mm, Fig.1-6～11)は、ワムシを良く摂餌する。ふ化後12～18日(全長5.11～6.57mm)の間に尾鰭、背鰭及び腹鰭原基が出現し、この期の終り(ふ化後26日)にはほぼ完成する。仔魚は水流にそって群をつくる。稚魚(ふ化後28～37日、全長10.7～22.7mm, Fig.1-12～14)は、体高が急に増加し、横縞の形成が始まる。全長20mm前後で7条の横縞が完成し、その後鱗が生ずる。ワムシと共にカイアシ類も摂餌するようになり、やがて魚肉ミンチも摂餌するようになる。若魚及び成魚(ふ化後45日以降、フォーク長5cm以上)については、フォーク長5cm以上の若魚は成魚の形態となり、群をなして活発に回転運動を行う。フォーク長13.3cmで雄に成熟個体が出現し、フォーク長23.8cmで産卵がみられた。

I-2) 成熟した雌は地色が淡黒紫色で、体側に7条の黒紫横縞があり、口辺部も黒い。雄は黒紫色の横縞が次第に消滅し、やがて全体が灰白色になるが、口辺部は黒く、クチグロと呼ばれる。この変化を指標に雌雄の判別が可能である。

I-3) イシダイに特徴的な横縞の出現は、第1横縞から第7横縞にかけて順次起こるが、第1～4横縞は独立して形成されるのに対し、第5～7横縞は第4横縞の後部体側に黒色素胞群が出現し、これが分離して形成される。

I-4) 7条の横縞には41%もの個体に変異が認められるが、これらは第5～7横縞に集中していることからその原因は横縞形成過程での不完全分離によるものと思われる。

I-5) 天然魚と養殖魚の背鰭及び臀鰭条数を比較した結果、全ての棘・軟条について多少の変異はあるものの、出現頻度の顕著な棘・軟条数は両者の間に有意差は認められない。

I-6) 天然魚と養殖魚の魚体各部の測定形質9項目をフォーク長との比で比較した。その結果、体重、胸鰭長及び眼径については両者に差は認められない。体高は最初、天然魚が大きいですが、成長に伴い差は小さくなる。吻長、体幅、頭長、両眼間隔及び頭胴長は養殖魚がやや大き

い。背鰭12棘の長さの総和では変異が大きいが天然魚が大きく、しかも成長に伴いその差は大きくなる。

I－7) 天然魚と養殖魚の肥満度をフォーク長9.0～22.6cmの範囲で比較した。その結果、フォーク長13cm以上では常に養殖魚が5～14%大きい。

II 成熟と産卵

II－1) 養殖イシダイの生物学的最小形は、雄はフォーク長13.3cm(生後満1年)、雌はフォーク長23.8cm(生後満2年)であるが、群成熟度から親魚として充分使用できるのは、雄は満2年(群成熟度100%)以上、雌は満3年(群成熟度83.3%)以上である。

II－2) 雄の成熟は雌より常に先行し、水温18℃以上で放精し、20℃以上で産卵が開始される。産卵適水温は20～24℃であり、28℃以上になると終了する。紀南地方における産卵期は5～7月である。

II－3) 卵巣卵の卵径組成分布から、イシダイの成熟様式は多峰型で多回産卵を行う。

II－4) 親魚の大きさと卵巣内卵数は、成長に伴い直線的に増大する。熟卵をもつフォーク長23.8～32.8cmの親魚の卵巣内卵数は卵径0.1mm以上のものを集計すると約32～330万粒であった。

II－5) 卵巣卵から求めた1回の産卵数はフォーク長24～26cmで5万粒前後、28～30cmで10～20万粒前後であった。水槽内産卵から求めた1回の最高産卵数はフォーク長41.8cm、体重2,040gで612,200粒であった。搾出採卵で求めた採卵数の最高は、フォーク長43.7cm、体重2,440gで354,400粒であった。これらから1回の産卵数と魚体の大きさの間には正の相関が認められる。また一般に自然産卵では搾出採卵より多量の熟卵を得ることができる。

II－6) 産卵期間中における1尾の産卵回数を求めるために、親魚の雌雄を1尾ずつ及び雌1：雄3尾にしたところ、その回数は1～26回であり、雌10尾と雄5尾を同水槽に収容した場合の1尾の産卵回数は30回前後と推定される。また産卵間隔は2～3日と推定される。

II－7) 産卵期間中における1尾の総産卵数は5～7年魚(フォーク長38.3～47.3cm)で平均約750万粒であった。

II－8) 産卵は日没を中心に、16時から20時までの4時間に大部分行われる。これと関連して産卵前の卵巣卵の性状と経時的変化を調べた結果、8時30分に卵黄球期であった卵が14時30分には半透明となり、15時30分には完熟卵が出現し、17時前後には産卵が行われる。

II－9) 陸上水槽で自然産卵させるために、親魚の雌雄比を2：1にしたところ、比較的良く産卵し好結果が得られた。このことから親魚の数を調整することにより計画的に良質卵が確保できる。

Ⅲ 卵発生及びふ化

- Ⅲ－１） 完熟卵は球形分離浮遊卵で油球１個を有し，未受精卵の表面には動物極を中心に大小の円形模様が観察される（Fig. 28－１）。卵径は0.77～0.98mmである。
- Ⅲ－２） 発生過程は他の硬骨魚類とほぼ同様である。卵発生，ふ化の適水温は20～25℃で，23～24℃が最適温である。
- Ⅲ－３） 発生段階の若いステージの卵程，水温の影響を強く受け，へい死率が高く，その影響は低温側では19℃以下，高温側では29℃以上で特に低温側に強く起こる。そのため生き残った卵は，尾部の弯曲した奇形仔魚としてふ化する。
- Ⅲ－４） 受精卵は低比重海水のもとでは沈下し，その後の発生に異常が認められることが多い。受精卵の適当な海水比重は22.00（ σ^{15} ）以上で，この際には表層に浮遊する。
- Ⅲ－５） 発生段階の若いステージの卵程，低比重に対する抵抗力が小さく，卵のへい死率が高い。発生段階の進んだステージの卵程低比重でもへい死率は低い，これに代って仔魚の奇形出現率が高くなる。
- Ⅲ－６） ふ化速度は水温が高い程早く，19～29℃の実験温度範囲内で，ふ化所要最短時間は29℃で16時間10分，最長19℃で53時間である。

Ⅳ 成 長

- Ⅳ－１） ふ化仔魚は水温が高い程，生存日数が短かいので，水温20～26℃ではふ化後３日，28℃では２日目からワムシを投餌し，飢餓に陥らないよう留意する。
- Ⅳ－２） 若魚（フォーク長9.8～16.2cm）の棲息安全水温域は7.0～33.0℃の範囲にあり，活発に摂餌し，増重する水温は18℃以上であり，それ以下では摂餌はするが成長の停滞または体重の減少がみられる。
- Ⅳ－３） 平均水温24.4℃及び22.6℃の水温条件下で１ヶ月間にわたり仔魚の飼育を行い成長を比較した結果，水温の高い前者は平均全長24.5mmに成長したが，水温の低い後者は平均全長11.9mmの成長にとどまった。
- Ⅳ－４） ふ化仔魚の生き残りに必要な海水比重はおよそ15.00（ σ^{15} ）以上であり，若魚（フォーク長10.5～12.5cm）では5.00（ σ^{15} ）以上である。
- Ⅳ－５） 淡水中における稚魚，若魚の生存時間はフォーク長3.0cmの魚体では11.5分で，体長の増加に伴い直線的に延長し，15.0cmで23分であった。このことから *Benedenia* sp. 等の駆除に際し，淡水浴には充分耐え得る。
- Ⅳ－６） 若魚（フォーク長9.7～10.8cm）は溶存酸素量が1.0ml/l以下になると異常行動をとる

ようになり、窒息時の酸素量は $0.45\sim 0.65\text{ml}/\ell$ である。このことから、イシダイの飼育には $1.0\text{ml}/\ell$ 以上の溶存酸素量が必要である。

Ⅳ－７) 初期餌料としてシオミズツボワムシが適当であり、仔魚（全長 $3.13\sim 5.17\text{mm}$ ）の摂餌の日周活動は、夜明け（ $5\sim 6$ 時）と共に摂餌を開始し、日中続けながら夕暮れ（ $19\sim 20$ 時）暗くなると停止する。

Ⅳ－８) 稚魚（全長 $12.04\sim 23.75\text{mm}$ ）はワムシより大型の生物餌料を摂餌するようになり、その日周活動は、日の出と共に活発となり、飽食に達すると停止し、消化され空胃になると再び摂餌するというように1日3回摂餌活動の活発な時間帯が認められる。

Ⅳ－９) 最初の餌料にワムシを用い、成長に応じてカイアシ類、魚肉ミンチを投餌すれば、ふ化後10日で全長約 6mm 、30日で約 2.5cm 、50日で約 6cm に成長する。

Ⅳ－10) 若魚期からの餌料として生鮮または冷凍魚肉が良く、このうち増肉量及び餌料効率の優れた好適餌料はイカナゴ、サバであり次いでカタクチイワシ、アジなども良い。

Ⅳ－11) 魚肉を餌料として、4年間飼育したところ、満1年でフォーク長 19.7cm 、体重 198.6g 、2年で 25.8cm 、 497.0g 、3年で 27.5cm 、 622.0g 、4年で 28.5cm 、 664.0g に成長した。その成長量は満1年までは大きく、2年目からは経年的に小さくなり、フォーク長をとれば4年目の成長量は1年目の約 $\frac{1}{20}$ であった。

Ⅳ－12) 体重の増加は飼育水温及び成熟に関連し、栄養成長を行う1才魚までは大きいですが、成熟成長に移る2才魚からは小さくなる。

Ⅳ－13) 肥満度は栄養成長を行う1才魚までは夏季に大きく、冬季に小さい。成熟成長に移る2才魚からは、これに加えて生殖巣の発達や放卵、放精などの生殖活動が肥満度の増減に大きく関与する。

V 交雑による養殖種苗の生産

V－１) 養殖上の優良品種をつくるため、イシダイと生態的に良く似たメジナと、近縁なイシガキダイとの交雑試験を行った。

V－２) イシダイ（雌）とメジナ（雄）を交雑した結果、受精率、ふ化率共にかなり良いが、成長はメジナに似てイシダイよりかなり悪く、また生き残り率も極めて低いことから品種改良点は見出せなかった。なお交雑種の斑紋、体形など形態的形質は両親種の間値をとる。

V－３) イシダイ（I）の雌とイシガキダイ（G）の雄との交雑から第1代（ F_1 ）をつくり、これにイシガキダイ雄を交雑させ、戻し交雑第1代（ $G \cdot B_1$ ）をつくった。さらにイシガキダイ雄の交雑により戻し交雑第2代（ $G \cdot B_2$ ）をつくった。また上記（ F_1 ）にイシダイ雄を交雑

させ、戻し交雑第1代($I \cdot B_1$)をつくり、さらにイシダイ雄の交雑により戻し交雑第2代($I \cdot B_2$)をつくり、計5交雑種をつくった。

V-4) 5交雑種の卵径は、おおむねイシダイとイシガキダイの間であり、ふ化仔魚はイシガキダイの形質の強い $G \cdot B_2$ 、 $G \cdot B_1$ が大きく、イシダイの形質の強い $I \cdot B_1$ 、 $I \cdot B_2$ は共に小さい傾向にある。

V-5) 交雑種の受精率は $G \cdot B_1$ が最も高率で、 F_1 、 $I \cdot B_1$ 及び $I \cdot B_2$ はほとんど差がなく、 $G \cdot B_2$ は低率であった。ふ化率は $I \cdot B_1$ 、 $I \cdot B_2$ 及び $G \cdot B_1$ は差が小さく、 F_1 及び $G \cdot B_2$ は低率である。ふ化後100～150日の生き残り率は F_1 及びイシダイの形質の強い $I \cdot B_1$ 、 $I \cdot B_2$ は7.3～8.8%でイシガキダイの形質の強い $G \cdot B_1$ 、 $G \cdot B_2$ は1.9～2.8%と低率である。

V-6) 交雑種の斑紋について、 F_1 はイシダイ同様、横縞の形成から始まり、その間隙にイシガキダイ様の斑点が出現し、イシダイとイシガキダイの中間的形質を表わし、イシダイ及びイシガキダイの戻し交雑では、代を重ねるたびにイシダイ及びイシガキダイの斑紋にそれぞれ近似する。

V-7) 交雑種の比体高を用い、体形を比較した結果、イシガキダイの形質の強い $G \cdot B_2$ 、 $G \cdot B_1$ は比体高が大きく、イシダイの形質の強い $I \cdot B_2$ 、 $I \cdot B_1$ は小さく、 F_1 はその中間形である。

V-8) 5交雑種を飼育して、3.5年目の成長を比較した結果、 F_1 が最も良く、体重1,310gで、以下 $G \cdot B_1$ 、 $I \cdot B_1$ 、 $I \cdot B_2$ 、 $G \cdot B_2$ の順であったが、 F_1 と $G \cdot B_2$ の体重差は757gであった。

V-9) 交雑種の成熟について、 $G \cdot B_2$ を除いた4交雑種は雌雄共に成熟し、その成熟年齢は F_1 及び $I \cdot B_1$ が生後満2年と比較的早く、旺盛な生殖活動も認められるので産卵用親魚としての利点がある。

V-10) 5交雑種のうち、特に F_1 、 $I \cdot B_1$ は交雑が容易で、生き残り率も高く、成長も優れているので養殖上好適品種である。

VI イシダイの増養殖

VI-1) イシダイの養殖生物学的研究と養殖試験の成果に基づいて、健全な増養殖用種苗50万尾生産規模における生産方式及びイシダイの養成方法について検討した。

VI-2) 健全卵の計画的採卵には、満4～5才(体重1～2kg)の雌雄親魚を用い、自然産卵させる方法をとれば計画通り容易に目的を達成できる。

VI-3) 産卵水槽を50トンとし、1kgの雌親魚100尾を収容すると、産卵盛期には、5cmサイズの稚魚50万尾を生産するために必要な健全卵1,787.5万粒が容易に確保できる。

VI-4) この受精卵を10万粒/㎡の密度で50トンふ化槽3基と30トンふ化槽1基に収容し、水温

を23～24℃，海水比重を21.00(σ^{15})以上の好適環境に保ち，卵が均等に分散する程度にエアレーションして管理すれば，21～40時間後に80%以上のふ化率で1,430万尾の正常ふ化仔魚が確保できると試算される。

VI-5) このふ化仔魚を3万尾/ m^3 の密度で，50トン飼育水槽9基と30トン飼育水槽1基に収容し，止水で弱いエアレーションしながら飼育すると，ふ化後3日で摂餌が始まる。この飼育施設で沖出しサイズまで飼育する。

VI-6) 摂餌開始から沖出しサイズの稚魚（全長約5cm）までの餌料系列は，ワムシ（ワムシを含むクロレラ海水，ふ化後3日から20日まで）—天然カイアシ類（ふ化後13日から38日まで）—魚介類ミンチ（ふ化後30日以降）とし，餌料の転換期には両餌料の併用期間をおき，摂餌の転換が円滑に行われるようにする。

VI-7) カイアシ類及びミンチを摂餌するようになると，飼育水が悪化するので，以後飼育水を流水にして環境保持に留意する。全長約5cmに達すると，さらに環境の良い海面生簀に沖出しを行い成長を促進させる。

VI-8) 飼育中の減耗は，摂餌開始後3～5日に特に多く，横縞が出現し稚魚期に移行するふ化後20日前後にやや多く，その後は大きな減耗はみられない。ふ化から沖出しまでの生き残り率は平均3.51%で，前記1,430万尾のふ化仔魚から全長約5cmの沖出しサイズの稚魚50万尾生産が見込まれる計算となる。

VI-9) 5cmサイズの稚魚を陸上施設から沖出しするに当たり，その施設として生簀網（目合18節、8×8×水深3m）が適当で，この中へ300尾/ m^3 の密度で収容する。餌料はイカナゴ，サバなどへ栄養剤を加えたミンチを1日，体重の30～40%量を目標に4～5回に分けて投餌する。

VI-10) この施設で約1ヶ月間養成すれば，フォーク長約10cmに成長する。これを養殖用種苗とする他，放流用種苗とすれば，自然減耗も極めて少なく，その効果が期待できる。

VI-11) 養成試験は，ポリエチレン製，8×8×水深3.5m（目合14節）の生簀網を用い，8,000尾（約36尾/ m^3 ）を収容して開始した。成長に応じて生簀網の目合を大きく，10節から最終6節とすると共に，収容尾数も体重約500g以上で最終3,000尾（約13尾/ m^3 ）とした。魚肉餌料で3年間養成した結果，平均フォーク長28.3cm，体重630g，最大フォーク長33.2cm，体重950gに成長した。

VI-12) 当才魚の日間摂餌率は，最高22.4%で，成長に伴い1才魚で最高6.1%，2才魚で3.9%と低くなる傾向を示し，冬季は水温低下のため0.2～1%と極めて低い。増肉係数は通算14.7であり，生き残り率は3年間で95.3%と高かった。

VI-13) 養成試験の結果，イシダイの成長はハマチ，マダイなど他の養成魚に比べ，成長が遅

く商品サイズに達するまでに3年を要することが養殖魚として最大の課題であるため、以下イシダイが最大の成長をもたらすための養成条件及び成長改善策を検討した。

Ⅵ-14) イシダイの棲息環境条件について、水温は25～28℃、海水比重は20.00 (σ^{15}) 以上、溶存酸素量は4 ml/l以上であることが成長好適環境であるので、なるべく長期にわたりこの環境が維持できる水域を養殖場とする。

Ⅵ-15) 養成施設として、養殖環境が適正に保たれ、網交換不要で省力化がはかられ、イシダイの強靱な歯による損傷もなく、耐用年数が長いなどの利点を備え、成長の良好な塩化ビニール被覆金網生簀が適当である。

Ⅵ-16) 投与する餌料については、生鮮または冷凍のイカナゴ、サバが増肉、餌料効率共に優れている。

Ⅵ-17) イシダイの成長改善策として、他魚種との混養が有効で、イシダイと競合するシマアジ、マダイなどと混養すれば、イシダイ単独養成の場合より1年間で15～24%の体重増が認められた。

Ⅵ-18) 以上述べたイシダイの養殖方式を採用すれば、種苗生産から養成まで一貫養殖が可能である。イシダイ養殖の課題である成長改善策として養殖場の立地条件は、なるべく温暖水域を選定することの他、シマアジ、マダイなど他魚種との混養、イシガキダイとの交雑などの方策を見出したが、これらを早急に実用化する必要がある。加えて、イシダイは磯魚として定着性が強いので、人工種苗の放流を行えば、沿岸漁業の資源増殖策としてその効果が期待できる。

文 献

- 道津喜衛, 1963: イシダイ成魚の体色, 斑紋に現れた雌雄差. 水産増殖, **11**(2), 101~104.
- 道津喜衛・夏莉 豊, 1967: イシガキダイおよびイシダイの体色斑紋に現れた第2次性徴. 長崎大学水産学部研究報告, (24), 1~7.
- 藤田矢郎, 1975: 稚魚の大量飼育. 稚魚の摂餌と発育(日本水産学会編), 100~113, 恒星社厚生閣(東京).
- 福所邦彦・神田高司・与賀田稔久・藤田矢郎, 1975: 人工ふ化養成イシダイの自然産卵による採卵. 長崎県水産試験場研究報告, (1), 29~37.
- 福所邦彦, 1979: イシダイの種苗生産に関する基礎的研究. 長崎県水産試験場論文集, 第6集, 1~173.
- 伏見 徹, 1975: 餌料. 稚魚の摂餌と発育(日本水産学会編), 67~83, 恒星社厚生閣(東京).
- 福岡県水産試験場, 1974: 魚類の初期餌料としての動物プランクトンの探索と大量培養研究—Ⅲ—. 昭和49年度指定調査総合助成事業中間報告書, 1~18.
- 原田輝雄, 1965: ブリの増殖に関する研究. 近畿大学農学部紀要, (3), 1~291.
- 原田輝雄・水野兼八郎他, 1970: イシダイとイシガキダイの人工交配とふ化仔魚の飼育. 昭和45年度日本水産学会年会(日本農学大会水産部会)講演要旨, 34.
- 原田輝雄・村田 修・宮下 盛, 1973: イシダイ(♀)×イシガキダイ(♂)のF₂および戻交雑について. 昭和48年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 74.
- 原田輝雄, 1974: 海産魚. 魚類の成熟と産卵その基礎と応用(日本水産学会編), 66~75, 恒星社厚生閣(東京).
- 桧山義夫, 1934: イシダイの歯系発達について. 動物学雑誌, **46**(549), 304~312.
- 平野礼次郎, 1974: 現状と問題点(海産魚). 魚類の成熟と産卵—その基礎と応用(日本水産学会編), 13~17, 恒星社厚生閣(東京).
- 五十嵐正治, 1965: イシダイ. 浅海養殖60種, 64~66, 大成出版社(東京).
- 岩井 保, 1971: 生殖. 魚学概論, 139~150, 恒星社厚生閣(東京).
- 岩井 保, 1971: 環境と変異, 系群, 自然雑種. 魚学概論, 168~182, 恒星社厚生閣(東京).
- 今田 克他, 1977: 魚類種苗生産用油脂酵母の開発. 昭和52年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 71.
- 角田俊平, 1970: 底流網によるキスの生態とその資源に関する研究. 広島大学水畜産学部紀要, **9**(1), 1~55.

KROGH,A., 1914: On the influence of the temperature on the rate of embryonic development. *Zeit. All. Physiol.*, 16, 131~137.

熊井英水・中村元二・原田輝雄, 1967: イシダイの親魚養成, 人工ふ化および仔魚育成について. 昭和42年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 20.

熊井英水・中村元二他, 1968: イシダイの種苗生産について. 昭和43年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 39.

熊井英水・中村元二他, 1969: 人工ふ化によって得られたイシダイ稚魚の育成と成熟について. 昭和44年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 1.

熊井英水・中村元二, 1972: 養殖イシダイの成熟と採卵について. 昭和47年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 13.

熊井英水・中村元二, 1972: 養殖イシダイの室内採卵法について. 昭和47年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 141.

熊井英水・中村元二, 1973: 養殖イシダイ親魚における雌雄の判別. 昭和48年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 64.

熊井英水・中村元二, 1977: 養殖イシダイの産卵日における卵巣卵の動態. 昭和52年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 66.

熊井英水・中村元二, 1978: イシダイの卵発生ふ化におよぼす水温および塩分の影響. 昭和53年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 51.

熊井英水・中村元二, 1979: イシダイの成熟と産卵時期について. 近畿大学農学部紀要, (12), 35~44.

熊井英水・中村元二, 1979: イシダイとイシガキダイの雑種における戻し交雑第二代について. 昭和54年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 33.

熊本県水産試験場, 1972: 養殖イシダイ親魚の陸上水槽での産卵について. 昭和46年度事業報告書, 284~289.

熊本県水産試験場, 1972: イシダイ種苗生産のための基礎研究Ⅱ. 同報告書, 273~283.

熊本県水産試験場, 1975: 同研究Ⅴ(9トンコンクリート水槽による種苗生産試験). 昭和49年度同報告書, 400~403.

北島 力, 1978: マダイの採卵と稚魚の量産に関する研究. 長崎県水産試験場論文集, 第5集, 1~92.

三谷文夫, 1960: プリの漁業生物学的研究. 近畿大学農学部紀要, (1), 81~300.

水戸 敏, 1956: イシダイの卵発生と仔魚期. 九州大学農学部学芸雑誌, 15(4), 501~507.

水戸 敏, 1963: 日本近海に出現する浮遊性魚卵Ⅲ. スズキ亜目. 魚類学雑誌, 11(1・2), 39~40.

MARR,J.C., 1956: The "critical period" in the early life history of marine fishes. *J.*

Cons. Inst. Explor. Mer., 21, 160~170.

長崎県水産試験場, 1968: イシダイのホルモン注射による採卵とふ化仔魚の飼育. 種苗生産技術
研究報告書—I. 同報告書, 19.

長崎県水産試験場増養殖研究所, 1973: イシダイの種苗生産. 同報告書, 9~15.

長崎県水産試験場増養殖研究所, 1973: イシダイ稚仔魚に関する2, 3の餌料試験. 増養殖に
関する研究報告—I. 同報告書, 16~18.

長崎県水産試験場増養殖研究所, 1974: 昭和48年度イシダイの人工採苗試験. 増養殖に関する研
究報告—II. 同報告書, 24~30.

農林省畜産局流通飼料課法制技術研究会, 1976: 飼料安全法ハンドブック. (同研究会編著), 345
~387, 大成出版社(東京).

落合 明, 1970: 年令. 魚類学(上), 132~136, 恒星社厚生閣(東京).

落合 明, 1970: 成長. 魚類生理(川本信之編), 205~232, 恒星社厚生閣(東京).

遠部 卓, 1974: 海産枝角類の生態に関する研究. 広島大学水畜産学部紀要, **13**(1), 83~179.

鈴木 亮, 1966: 育種学的にみた魚類の交雑(総述). 日本水産学会誌, **32**(8), 677~688.

塩屋照雄・西村和久・吉田勝彦, 1973: 伊豆大島海域におけるイシダイ属天然交雑魚の記録. 魚
類学雑誌, **20**(1), 47~49.

代田昭彦, 1975: 若幼魚及び稚仔魚の口径と餌料. 水産餌料生物学, 170~187. 恒星社厚生閣(東京).

高野和則, 1974: 生殖腺の成熟過程. 魚類の成熟と産卵—その基礎と応用(日本水産学会編), 18
~30, 恒星社厚生閣(東京).

田中 克, 1975: 消化器官. 稚魚の摂餌と発育(日本水産学会編), 7~23, 恒星社厚生閣(東京).

東京都, 1978: 東京中央卸売市場年報, 184.

内田恵太郎, 1926: イシダヒ *Oplegnathus fasciatus* (TEMMINCK et SCHLEGEL) の稚魚における
斑紋の形成および習性について. 動物学雑誌, **38**(454), 228~237.

榎田 晋・落合 明, 1971: 産卵期前後の養成ブリの成熟. 魚類学雑誌, **18**(4), 175~181.

和歌山県水産増殖試験場, 1972: イシダイ種苗生産試験. 昭和46年度同事業報告書, (4), 45~47.

和歌山県水産増殖試験場, 1973: イシダイ種苗生産試験. 昭和47年度同事業報告書, (5), 82~87.

和歌山県水産増殖試験場, 1974: イシダイ種苗生産試験. 昭和48年度同事業報告書, (6), 91~100.

和歌山県水産増殖試験場, 1975: イシダイ種苗生産試験. 昭和49年度同事業報告書, (7), 117~128.

渡辺 武・米 康夫・北島 力・藤田矢郎, 1976: クロレラによる二次培養イーストワムシの脂
肪酸組成. 昭和51年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 42.

山本喜一郎, 1970: 生殖. 魚類生理(川本信之編), 233~271, 恒星社厚生閣(東京).

山本時男, 1943: 魚卵の発生速度と温度. 魚類の発生生理, 110~120, 養賢堂(東京).

Summary

By classification, Japanese parrot fish, *Oplegnathus fasciatus* (TEMMINCK et SCHLEGEL) come under the order of Perciformes, suborder of Percoidei, family of Oplegnathidae and have spotted parrot fish of the same genus as a related species.

The Japanese parrot fish is a sea shore fish that ranges widely, almost throughout Japan, from Hokkaido to Kagoshima, especially in the Kuroshio coastal region of western Japan. They are caught in stationary nets, gill nets etc., and are an important marine resource for surf fishing also. They taste so good that they are eaten all the year round and demand for them is expected to continue to expand.

For that reason, the culture of this fish began about 1965 and has been expanding in various locales, especially western Japan. For example, according to Fukusho (1979), the number of Japanese parrot fish that were cultured in Nagasaki Prefecture in 1977 amounted to almost one million fish.

Cultured Japanese parrot fish began to arrive and have been arriving at the central whole sale markets of Tokyo, Osaka and other cities.

In order to make the culture of this species prosper in the future, it is necessary to secure a great number of seed. However, nature does not give us much opportunity to obtain them. In Japan only about one hundred thousand to five hundred thousand of its seed are caught each year in the stationary nets throughout the Noto Peninsula and Toyama Bay. Since the demand for seed by the breeders of Japanese parrot fish can not be satisfied domestically, seed imported from Korea has begun to be utilized. Such complete reliance on natural resources or foreign countries for securing seed has its limits, and we are apprehensive of “outside” control and maintenance of resources. It is indispensable, therefore, to systematically produce the healthy seed which correspond to the ever increasing culture of this species.

For this study, the experiment was started in 1965, to raise natural seed of this species. Juveniles were raised till they became adult fish. Using these as parents, we carried out artificial fertilization, hatching and rearing of the hatched larvae and succeeded for the first time in the world in the thorough culture of those hatched larvae throughout their life history. For another 13 years following the above-mentioned success, I have continued the cultures’ basic biological study in order to establish the full-scale culture of Japanese parrot fish. The results are summarized as follows.

I. Morphology

I-1) The morphological and ecological changes of the larvae in respective developmental stages are described.

In the prelarval stage (within 2 days after hatching, total length 2.1 to 3.02 mm. See figs. 1-1 to 1-5), the guanophores accumulate in the eyes which come to gleam silver-colored, the mouths develop large, and the jaws are developed. The larvae float freely near the surface first, and sometimes swim in a normal posture when the pectoral fins are well-developed. They do not take any feed in this stage.

The postlarvae (from 3 to 26 days after hatching, total length 3.17 to 8.67 mm. See Figs. 1-6 to 1-11) actively ingest rotifer. During the period from 12 to 18 days after hatching (total length from 5.11 to 6.57 mm), the rudimentary caudal fin, dorsal fin, and ventral fins appear, and those fins take almost complete forms at the end of this stage (the 26th day after hatching). The larvae form patches along the edges of the water current.

The juveniles (from 28 to 37 days after hatching, total length 10.7 to 22.7 mm. See Figs. 1-12 to 1-14) show a rapid increase in the body height and begin to form transverse bands. The 7 transverse bands are completed when the total length attains about 20 mm, and the scales start to develop thereafter. They start to ingest copepoda as well as rotifers, and begin to also take minced fish soon after that.

In the young and adult stages (45-day-old and older fish, fork length over 5 cm), the young fish of over-5-cm fork length take the same shape as the adult fish, and briskly make circular movements in groups. Among the male fish which have attained the fork length of 13.3 cm, matured individuals were found. When the female fish grew to have the fork length of 23.8 cm, the first spawning was observed.

I-2) The matured female have a ground color of light purplish black, seven transverse bands on the body lateral side, and dark color about the mouth. The mature males gradually lose their transverse bands of dark purplish black, and assume a light ash color all over the body in the due course time except for the mouth which remains dark in color. The males are therefore called "Kuchi-guro (dark-color mouthed)." This change serves as an indication for distinguishing the male from the female.

I-3) The transverse bands which are characteristic of Japanese parrot fish manifest themselves as such in a consecutive order from the first to the seventh; however, though the first to fourth transverse bands are independently formed, the fifth through seventh originally appear as melanophores which take place on the body lateral side at the rear part of the fourth band, from which they each formed separately as an independent band in due course of time.

I-4) Forty-one percent of the fish have been observed having variations in the seven transverse bands. Since such variations concentrate upon the fifth to seventh bands, they are considered to be caused by defective separation from the melanophores in the course of forming the transverse bands.

I-5) A comparison made concerning the dorsal fin and anal fin between the wild fish and the cultured one disclosed that the number of the spines and soft rays which show a high appearance frequency does not indicate a significant difference between them, though some difference takes place with respect to the entire number of spines and soft rays.

I-6) Nine respective physical characters measured at various parts of the body were compared between the wild fish and cultured one by using the ratio of each measured value of such characters to the fork length. The results show there is no difference in the body weight, pectoral fin length and eye diameter. The body height of the wild fish is larger than that of the cultured, but the difference becomes smaller as they grow. Other characters such as snout length, body width, head length, inter-orbital distance and head-and-trunk length are larger in the cultured fish than in the wild ones. The total of the lengths of 12 dorsal spines though it much varies, is larger in the wild fish than in the cultured, and the difference becomes larger as the fish grow.

I-7) The condition factor within the fork length range from 9.0 to 22.6 cm was compared between the wild fish and the cultured, which showed that the condition factor of the cultured is always 5 to 14 percent larger than that of the wild in the case of a fork length of over 13 cm.

II. Maturity and spawning

II-1) Though the biological minimum size of the cultured Japanese parrot fish is 13.3 cm (one year old) for the male and 23.8 cm (two-year old) for the female, they have not been able to be fully utilized as parents in terms of the group maturity until the male fish are over two years old (the group maturity: 100 %) and the female over three years old (the group maturity: 83.3 %).

II-2) The male fish always attains maturity earlier than the female. Semination starts when the water temperature rises up to 18 °C or above, and spawning starts when the water temperature rises up to 20 °C or above. The most suitable water temperature for semination and spawning is within the range from 23 to 24 °C, and a water temperature of 28 °C or above terminates them. The spawning period in southern part of Wakayama Prefecture is from May through July.

II-3) With the constitutional distribution of the ovarian eggs concerning their sizes taken into consideration, their maturing order is a synchronic so that the female fish spawn more than once.

II-4) The size of a parent fish and the total number of ovarian eggs both rectilinearly increase in proportion to the growth of the fish. When aggregating eggs of 0.1 mm diameter and larger, the number of the ovarian eggs of each parent fish (fork length 23.8 to 32.8 cm) having mature eggs is within the range of about 320,000 to 3,300,000.

II-5) The number of eggs spawned in a single spawning, which was obtained from ovarian eggs, was about 50,000 in the case of the fish with the fork length of 24 to 26 cm, and about 100,000 to 200,000 in the case of the fork length of 28 to 30 cm. The maximum number of eggs by a single tank spawning obtained from a parent fish (fork length 41.8 cm, weight 2,040 g) has been 612,200 eggs. The maximum number of eggs by abdominal pressing obtained from a parent fish (fork length 43.7 cm, weight 2,440 g) has been 354,400. From those results a positive correlation is concluded to exist between the number of eggs by a single spawning and the size of the fish. In addition, natural spawning has generally enabled us to obtain more mature eggs than abdominal pressing.

II-6) In order to find out the spawning frequency of a single fish during one spawning season, one control group of fish was kept with a 1 : 1 female/male in one spawning tank and 1 : 3 in another to follow up spawning activities. The spawning frequency by a single fish was found to vary from 1 to 26. It was observed and estimated to be about 30 if 10 females and 5 males are kept in the same spawning tank. The interval between the spawnings is estimated to be 2 to 3 days.

II-7) The total number of eggs spawned by a single fish throughout one spawning season was an average of about seven and half a million with regard to the five- to seven-year-old fish (having the fork length of 38.3 to 47.3 cm).

II-8) Spawnings take place mostly during the four hours from 4 : 00 p.m. to 8 : 00 p.m. with sunset as a peak. In connection with the above-mentioned fact, the ovarian eggs which were to be spawned were observed for their properties and changes with the passage of time. The results show that at 8 : 30 a.m. the eggs were at the yolk stage; at 2 : 30 p.m. they became semitransparent; at 3 : 30 p.m. fully matured ones appeared; and at around 5 : 00 p.m. spawning took place.

II-9) In order to let the fish naturally spawn in a spawning tank, a parent group of the fish was put in the tank with the ratio of the female to the male being 2 : 1, which produced a comparatively successful result (see II-6). Hence, it is possible to systematically secure high-quality eggs by adjusting the number of parent fish kept in the spawning tank.

III. Eggs development and hatching

III-1) Fully-matured eggs are isolated epipelagic eggs each one of which has an oil-globule. On the surface of an unfertilized egg, circular figures of various sizes around its animal pole as a center are seen (see Fig. 28-1). The outer diameter of a fertilized egg is from 0.77 to 0.98 mm.

III-2) The process of egg development of the fish is almost the same as that of other teleosts. The water temperature suitable for development of the eggs and hatching is from 20 to 25 °C, and a water temperature from 23 to 24 °C is the optimum.

III-3) The earlier the stage of development the eggs are in, the more susceptible the eggs are to the influence of the water temperature and the higher their mortality. Such influence is notable when the water temperature is below 19 °C or above 29 °C. The influence is especially notable when it is 19 °C or below than when 29 °C or above. Therefore, in adverse water temperature, any surviving eggs produced abnormal larvae, each having a crooked tail.

III-4) Fertilized eggs sink under water when put in sea water of low specific gravity. If kept under such a condition, abnormality is often found in the development of the eggs. The specific gravity of the sea water suitable for fertilized eggs is 20.00 (σ^{15}) or greater, and in sea water having such specific gravity, the eggs keep floating on the water surface.

III-5) The earlier the stage of development the eggs are in, the lower the resistance to the low specific gravity of sea water and the higher the mortality the eggs show. The closer the stage of

development approaches completion, the lower the mortality becomes if the eggs are subjected to a low specific gravity, though the appearance rate of abnormal larvae becomes higher.

III-6) The higher the water temperature, the faster the eggs are hatched. Within the experimental water temperature range from 19 to 29 °C, the minimum time required for hatching was 16 hours, 10 minutes at 29 °C, and the maximum was 53 hours at 19 °C.

IV. Growth

IV-1) The higher the water temperature, the shorter the lives of larvae. With this fact taken into consideration, it is necessary to start giving rotifers to the larvae from the third day when the water temperature is 20 to 26 °C and from the second day when the temperature 28 °C so as not to let the larvae starve.

IV-2) The safe living water temperature range for the young fish (fork length 9.8 to 16.2 cm) is from 7.0 to 33.0 °C. The water temperature which enables the fish to actively eat feed and gain weight is 18 °C or over. If it is below 18 °C, the fish are apt to stop growing or lose weight.

IV-3) Larvae were bred for one month under two water temperature conditions: one was an average of 24.4 °C and the other 22.6 °C. The experiment resulted in that the fish grew to attain the total length of an average of 24.5 mm in the former case but attained the total length of an average of only 11.9 mm in the latter case.

IV-4) The specific gravity of the sea water required to keep the larvae living is 15.00 (σ^{15}) or greater, and that required to keep the young fish (fork length from 10.5 to 12.5 cm) living is 5.00 (σ^{15}) or greater.

IV-5) The duration of survival time of the juvenile-stage and young-stage fish in fresh water was studied. The fish having a fork length of 3.0 cm lived for 11.5 minutes, and the duration of time the fish survived was in proportion to the size of the fork length, so the fish with the fork length of 15.0 cm continued to live for 23 minutes. Consequently, they are sufficiently capable of enduring bathing in fresh water when subjected to *Benedenia* sp. extermination.

IV-6) The young fish (fork length 9.7 to 10.8 cm) start to show abnormal behaviors when the amount of dissolved oxygen in the water decreased down to 1.0 mℓ/ℓ or less, and are suffocated

when it reaches the range from 0.45 to 0.65 mℓ/ℓ . The amount of dissolved oxygen in the water is therefore required to be more than 1.0 mℓ/ℓ for proper culture of Japanese parrot fish.

IV-7) The rotifer is suitable food for the fish at the earlier stages. The diurnal eating activity of the larval-stage fish (total length: 3.13 to 5.17 mm) is as follows: they start eating at daybreak (5 : 00 a.m. to 6 : 00 a.m.) and continue eating during the day until nightfall (7 : 00 p.m. to 8 : 00 p.m.).

IV-8) The juvenile-stage fish (total length 12.04 to 23.75 mm) begin to feed on organisms larger than the rotifer. Their diurnal eating activity is as follows: they begin to actively eat at sunrise, stop eating when they are satiated, and again start eating when their stomachs become empty after digestion. Consequently, there are three periods of time in a day during which they actively eat.

IV-9) If the rotifer is used as the first food and then the copepoda and minced fish are given to the fish in proportion to the growth, the fish grow to attain the total length of about 6 mm in 10 days, about 25 mm in 30 days and about 60 mm in 50 days after hatching.

IV-10) Fresh or frozen fish are appropriate as feed for the fish at and after the young stage. Among them, the sand eel and mackerel are the best foods for obtaining the weight gain and feed efficiency. The second best are anchovy and horse mackerel.

IV-11) The fish were cultured using fish meat for 4 years. At the end of 1 year, the year old fish had a fork length of 19.7 cm and weighed 198.6 g; the next year, the now 2 years old fish had a fork length of 25.8 cm and weighed 497 g; the next year, the now 3 years old fish had a fork length of 27.5 cm and weighed 622 g; the next year, the now 4 years old fish had a fork length of 28.5 cm and weighed 664 g. The results show that a high growth rate was obtained till the fish attained one year of age but the growth thereafter became slower as years went by so that the growth of the fork length in the fourth year was only one twentieth of that shown in first year.

IV-12) The weight increase is related to the water temperature and the maturity. The weight increase is rapid in the first year during which the fish are subject to the trophic growth, and it is slowed down after turning to the maturity development from the second year on.

IV-13) The condition factor is large in summer and small in winter in the case of the fish under

one year of age which are subject to the trophic growth. When fish are two years of age, growth shifts to maturity development, the development of gonads and breeding activities such as spawning, semination, etc. start to affect the condition factor increase and decrease.

V. Production of seed for fish culture by crossbreeding

V-1) In order to create crossbreeds desirable for culture, a Japanese parrot fish was crossed with a rudder fish which is ecologically similar to the former, and next with a spotted parrot fish which is in the same genus as Japanese parrot fish.

V-2) The crossbreeding of a Japanese parrot fish (female) with a rudder fish (male) resulted in that the fertilizing and hatching rates were considerably high, but the growth of this crossbreed, which resembles that of the rudder fish, was considerably lower than that of the Japanese parrot fish, and that the survival rate was also quite low. No improvements were therefore found. As for morphogenetic characters such as coloring, shape, etc., this crossbreed was an intermediate between the parents.

V-3) A female Japanese parrot fish (I) was crossed with a male spotted parrot fish (G) to produce the first filial generation (F_1); the F_1 was crossed with a male spotted parrot fish to create the first backcross generation ($G \cdot B_1$); the $G \cdot B_1$ was further crossed with a male spotted parrot fish to produce the second backcross generation ($G \cdot B_2$); the F_1 was also crossed with a male Japanese parrot fish to create the first backcross generation ($I \cdot B_1$); and the $I \cdot B_1$ was further crossed with a male Japanese parrot fish to create the second backcross generation ($I \cdot B_2$), totaling five crossbreeds.

V-4) Eggs of the five crossbreeds are mostly intermediate in diameter between those of the Japanese parrot fish and spotted parrot fish. Concerning larvae of such crossbreeds, those of the $G \cdot B_2$ and $G \cdot B_1$ inheriting more characters of the spotted parrot fish show a tendency to be larger, and those of the $I \cdot B_1$ and $I \cdot B_2$ inheriting more characters of the Japanese parrot fish are apt to be smaller.

V-5) The fertilizing rate of the $G \cdot B_1$ showed the highest level; the rates of the F_1 , $I \cdot B_1$ and $I \cdot B_2$ occupied the middle showing substantially no differences between them; and that of the $G \cdot B_2$ the lowest. For the hatching rate, the rates of the $I \cdot B_1$, $I \cdot B_2$ and $G \cdot B_1$ were higher and showed only an insignificant difference from one another, and those of the F_1 and $G \cdot B_2$ the lowest.

Observation of the survival rate for 100 to 150 days from hatching showed that the rates of the F_1 , $I \cdot B_1$ and $I \cdot B_2$ inheriting more characteristics of Japanese parrot fish were from 7.3 to 8.8 percent and those of the $G \cdot B_1$ and $G \cdot B_2$ were much lower than the former with a rate of only 1.9 to 2.8 percent.

V-6) Coloring of the F_1 starts in the same manner as that of Japanese parrot fish, with the formation of transverse bands and between such bands appear spots that are similar to those of spotted parrot fish. These bands and spots are indicative of an intermediate character between the Japanese parrot fish and spotted parrot fish. The coloring resembles more and more that of Japanese parrot fish or that of spotted parrot fish as backcrossing is repeated through generations.

V-7) The comparison in size of the crossbreeds using their specific heights (BH/FL) disclosed in that the $G \cdot B_2$ and $G \cdot B_1$ which inherited more characteristics from spotted parrot fish were the largest, the $I \cdot B_2$ and $I \cdot B_1$ inheriting more characteristics from Japanese parrot fish the smallest, and the F_1 intermediate.

V-8) The growth of the five crossbreeds of three and a half years of age was compared to one another, disclosing that the F_1 gained the best (1,310 g) and that the growth rates of the rest were, in descending order, $G \cdot B_1$ through $I \cdot B_1$ and $I \cdot B_2$ to $G \cdot B_2$. The difference in weight between the F_1 and $G \cdot B_2$ was 757 g.

V-9) To date, among the five crossbreeds, the four crossbreeds other than the $G \cdot B_2$, both the male and female, have attained maturity. Both the F_1 and $I \cdot B_1$ attain maturity when they are two years old, which is comparatively early. Those two are also found to have vigorous generative activity and are therefore advantageous as parent fish for spawning. (To date, the $G \cdot B_2$ has not matured, but this may be due to the short duration of the experiment, rather than any biological factor. Further time is required to conclude this aspect of the experiment.)

V-10) Among the five crossbreeds the F_1 and $I \cdot B_2$ are so easy-to-cross, have such a high survival rate and an excellent growth that they are the best suited fish for culture.

VI. Culturing of Japanese parrot fish

VI-1) The studies were carried out to achieve a method of producing 500,000 healthy fish, for

their successful propagation and ease of culturing Japanese parrot fish. Based upon the cultures' basic biological studies of Japanese parrot fish and upon the results of the experimental culture, the following recommendations are made (VI-2 to 18).

VI-2) For a systematical yield of healthy eggs, the use of parent fish of four to five years of age (weight: 1 to 2 kg) is best, and by adopting a method of letting them spawn naturally, goals can be attained easily as well as according to plan.

VI-3) Provided the 100 female parent fish, 50 male parent fish are accommodated in a spawning tank containing 50 m³ of water, about 17,875,000 sound eggs can easily be obtained from such tank when an active spawning period is reached.

VI-4) If the above-mentioned fertilized eggs, with a density of 100,000/m³ eggs, are kept in four hatching tanks, three each containing 50 m³ of water and one additional tank of 30 m³ of water, and if the water is properly controlled to be so aerated as to evenly disperse the eggs, with the water temperature kept from 23 to 24 °C and the specific gravity of sea water at 21.00 (σ¹⁵) or above, it is estimated to realize a hatching rate of over 80 percent within 21 to 40 hours, which enables us to secure 14,300,000 normal hatchings.

VI-5) If said hatchings are then bred with a density of 30,000/m³ using nine breeding tanks of 50 m³ of water and one breeding tank of 30 m³ and the still water is gently aerated, the fish start to ingest feed 3-day after hatching. The fish are to be raised in these tanks until they grow to attain the size for in-the-sea breeding.

VI-6) A succession of feeds for the larvae from the time of feed ingestion through attaining the size for sea breeding (total length of about 5 cm) is to be from rotifers (the chlorella sea water containing rotifers: from 3 to 20 days after hatching) through copepoda (from 13 to 38 days after hatching), to minced fishery products (from 30 days after hatching), and during the feed turning period, the fish are to be given both feeds in order to make the feed conversion smoother.

VI-7) Since the water is apt to be contaminated after the fish begin to eat the copepoda and minced feeds, still water is to be changed over to flowing water for maintaining a proper environment surrounding the fish. When the fish attain the total length of about 5 cm, they are to be put in net cages in the sea from which a better environment is expected to promote their growth.

VI-8) The natural decrease in number of the fish is the most conspicuous during the period from 3 to 5-day after feeding begins; the next highest natural decrease rate is seen around 20-day after hatching when the transverse bands appear and the fish enter the juvenile stage. Further large natural decreases are not seen thereafter. The survival rate during the period from hatching to the start of breeding in the sea is 1.1 to 8.97 percent — an average of 3.51 % — so that the above-mentioned 14,300,000 hatchings are expected to eventually produce 500,000 juvenile-stage fish of the total length of about 5 cm which is equivalent to the size for in-the-sea breeding.

VI-9) A net cage ($8 \times 8 \times 3$ m in size and 1.78 cm in mesh size — the measure stretched in length of two bars) is the most proper equipment for holding the juvenile-stage fish (5 cm in total length) transferred from the breeding tank to the sea. The fish are put in such net cages at a density of $300/\text{m}^3$. The fish are to be given, 4 or 5 times a day, minced sand eel, mackerel, or other feed to which nutritive substance is added. The quantity of the feed given per day is to be equivalent to 30 to 40 percent of the body weight of the fish.

VI-10) The fish grow to attain the fork length of about 10 cm within about one month period in this net cage. When those fish are used in two ways — for cultivation or for seeds to be released into the sea, the natural decrease expected is so small as to produce good results.

VI-11) The experiment to culture the fish was started with 8,000 fish (about $36 \text{ fish}/\text{m}^3$) of the 10 cm fork length kept in a polyethylene net cage of $8 \times 8 \times 3.5$ m (of 2.38 cm in mesh size). The size of a mesh was made larger in proportion as the fish grow, that is, through 3.37 to 6.06 cm in mesh size at the last stage, and the number of the fish accommodated in the net cage at the last stage was reduced to 3,000 (about $13 \text{ fish}/\text{m}^3$) when their weight attained over 500 g. The three-year of culturing the fish by giving them fish meat resulted in a fork length of 28.3 cm and weight of 630 g in average, and a maximum fork length of 33.2 cm and weight of 950 g.

VI-12) The maximum daily feeding rate was 22.4 percent in the case of fish under one year of age, and showed a tendency to become lower as they grew so that it was 6.1 percent for fish one year of age and 3.9 percent for those two-year of age. In winter it was extremely low, that is, 0.2 to 1 percent, due to the water temperature decrease. The feed conversion was 14.7, and the survival rate as high as 95.3 percent through the total period of three years.

VI-13) The greatest problem in culturing the Japanese parrot fish is that their growth, in

comparison with that of other cultured fish such as yellowtail and red sea bream, is so slow that the Japanese parrot fish requires three years until it grows to market size. In order to realize the maximum growth of the Japanese parrot fish, their culturing conditions and growth improving measures were therefore studied, of which results are described below.

VI-14) The proper environmental conditions under which the growth of Japanese parrot fish is accelerated are as follows: the water temperature is from 25 to 28 °C, the specific gravity of sea water 20.00 (σ^{15}) or greater, and the amount of dissolved oxygen 4 ml/l or greater, and such water area as being able to maintain the environment mentioned above is therefore to be selected for a Japanese parrot fish culture farm, if possible.

VI-15) For culturing equipment, the polyvinyl chloride covered wire net cage is best suited, because it maintains the proper culturing environment, does not require any net replacement to save labor, resists attacks of the tough teeth of Japanese parrot fish, and has a long life.

VI-16) Concerning the feeds given to the fish, such fresh or frozen fish as the sand eel or mackerel are excellent in obtaining large weight gain as well as high feed efficiency.

VI-17) To improve the growth of the Japanese parrot fish, it is effective to raise them with other kind of fish. In our experiment, the mixed culture with the yellow jack, red sea bream and any other fish that could enter a symbiotic relationship with the Japanese parrot fish realized a 15 to 24 percent greater weight increase in one year than when singly cultured.

VI-18) The introduction of the above-described Japanese parrot fish culturing method enables us to carry out the thorough culture from the seed production through to the fish culture. As measures to improve the slow growth, which is the problem in the Japanese parrot fish culture, the mixed culture with the yellow jack, red sea bream or other kinds of fish and the crossbreeding with the spotted parrot fish, together with the selection of a warm water area for the culture farm proved most effective. Such measures are required to be put into practice as soon as possible.

Additionally, since the Japanese parrot fish are apt to stay in coastal waters as a shore fish, releasing into the sea of the artificially hatched seeds can be expected to increase the marine resources for the coastal fishery.